

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Aplikovaná geologie



FRANTIŠEK BALÁK

MOŽNOSTI KRASOVĚNÍ V PŘECHODNÍ FACII ČESKÉ KŘÍDOVÉ PÁNVE

**POSSIBILITIES OF KARSTIFICATION IN THE TRANSITIONAL FACIES OF THE
BOHEMIAN CRETACEOUS BASIN**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jiří Bruthans, Ph.D.

Praha, 2015

..

Prohlášení autora

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Veškerou literaturu a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpal, v práci řádně cituji a jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Sobotce dne 05. 08. 2015

.....

František Balák

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat všem lidem, kteří mi s prací pomáhali. Hlavní dík patří vedoucímu mojí práce, Jiřímu Bruthansovi, za skvělé vedení průběhu jak terénních, tak laboratorních prací, za jeho konzultace a připomínky a za veškerý čas, který mi věnoval. Velký dík patří Janě Schweigstillové za poskytnutí snímků z mikrosondy a asistenci při terénních pracích, Michalovi Filippimu za pomoc se zpracováním vzorků, Ivě Kůrkové za asistenci při terénních pracích a zpracování vzorků. Dále bych poděkoval paní Škorpíkové za skvělé zpracování vzorků v brusírně PřF UK, Zdeňku Štaffenovi a vedení Orlického muzea za informace a poskytnutí hmotné dokumentace, Vratislavu Ouhrabkovi za informace o dutině v Jeskyni v Dolech, Petru Kunovi ze správy CHKO Broumovsko za vstřícnost a informace o broumovsku a drogerii Vaňková za spolehlivý přísun surovin k laboratorním pracím. Především bych zde ale chtěl poděkovat mojí rodině a blízkým za podporu během psaní práce i za podporu během celého studia. Analýzy vzorků na obsah karbonátů byly finančně zajištěny z projektu Rebilance podzemní vody.

Abstrakt

V České křídové pánvi (ČKP) se nachází mohutné prameny s vydatností přes 100 l/s. Nestor české hydrogeologie Prof. Hynie považoval některé z pramenů za krasové a za nejpropustnější oblast označil tzv. přechodní facií mezi mělkovodními kvádrovými pískovci a hlubokovodními slínovci a vápenci. Schopnost krasovění hornin dosud nebyla v ČKP rigorózně studována a vznik silně propustných cest v ČKP je předmětem spekulací. Tato diplomová práce se zabývá otázkou, jaké sedimentární horniny potenciálně umožňují tvorbu krasové propustnosti v České křídové pánvi. K tomu je na horninových jádrech odvrtných z výchozů v ČKP používána zrychlená simulace rozpouštění pomocí jejich loužení v kyselině chlorovodíkové. Obsah karbonátů je měřen standartní i vlastní metodou. Dále je zjišťováno mineralogické a zrnitostní složení a struktura vzorků pomocí SEM. Jak se ukázalo, hranice krasovění není určena pouze obsahem karbonátu ale i zrnitostí sedimentu, jeho strukturou a přítomností sekundární křemenné složky. Z hlediska rozpustné složky může hranice úplného rozpadu pro některé horniny představovat 30% obsah karbonátů, nejodolnější vesměs velmi jemnozrnné horniny s SiO_2 tmelem se však nerozpadají ani při 80% podílu karbonátů. Práce ukázala, že z obsahu karbonátů v horninách nelze spolehlivě odhadnout, zda se materiál bude rozpadat a tím umožňovat vznik krasového kanálu. V některých oblastech se zdá, že rozpad materiálu po rozpuštění karbonátu a vznik krasových kanálů je vázán na tektonicky postižené zóny. S krasem se práce setkává v okolí Turnova, ojedinělé případy rozšířené porozity byly však zaznamenány ve většině studovaných oblastí. Krasovou propustnost lze naopak vyloučit např. v kolektoru A2 v polické pánvi.

Klíčová slova: Česká křídová pánev, kras, obsah karbonátu, slínovce

Abstract

In the region of Bohemian Cretaceous Basin can be found some springs with specific yield over 100 l/s. The doyen of Czech hydrogeology Prof. Hynie described some of those springs to be of karst origin and as the most permeable area he described the so-called transitional facies between shallow-water sandstones and deep-water marlstones. Possibilities of karstification have not yet been studied for rocks in the BCB, so the origin of well-permeable pathways in the BCB is a subject of speculations. This thesis deals with the question of which sedimentary rocks potentially allow the generation of karst permeability in the BCB. To do so, rock samples drilled from outcrops in the BCB were subjected to a fast dissolution simulation by leaching in hydrochloric acid. Carbonate content is measured by a standard and one's own method. Mineral composition, grain size and microscopic structure of rocks are studied with SEM. As is shown, the border of rock karstification is not defined just by the carbonate content, but also the grain size, rock structure and by the occurrence of fine secondary silicate content. Concerning the amount of dissolvable compounds, the border of total disintegration can be at 30 % of carbonate content for some rocks, but the most resistant rocks (mostly fine rocks with SiO₂ matrix) stay intact even at 80% carbonate content. The thesis has shown, that it is not possible to be able to estimate just from the carbonate content, whether the rock material will disintegrate due to dissolution of its carbonate content and thus allow generation of karst channel. In some location it seems, that the material disintegration and generation of karst channels is limited to the occurrence of tectonically altered zones. The thesis meets karst in the proximity of Turnov, isolated cases of enlarged porosity were discovered in most of the visited locations. Karst permeability can be ruled out in the A2 aquifer of the Police basin.

Keywords: Bohemian Cretaceous Basin, karst, carbonate content, marlstone

Obsah

1 Úvod	11
1.1 Zaměření a cíle práce	11
1.2 Sebeorganizace a vznik krasové porozity	12
1.3. Klasifikace vápnitých hornin	15
2 Geologie ČKP	16
2.1 Základní informace o ČKP	16
2.2 Litofaciální vývoj a stratigrafie ČKP	18
2.3 Sedimenty ČKP a jejich klasifikace	21
2.3.1 Pískovcová facie	22
2.3.2 Facie přechodných hornin	23
2.3.3 Slánovcová facie	24
2.3.4 Vápence	26
2.4 Hydrogeologie ČKP	26
2.5 Hydrogeologie zájmových oblastí	29
2.6.1 Mělnicko a Mladoboleslavsko	29
2.6.2 Turnovsko	32
2.6.3 Podorlická křída a východočeské synklinály	32
2.6.4. Polická pánev	37
3 Metodika a data	38
3.1. Definice parametrů a použité přístroje	38
3.2 Metodika odběru vzorků	38
3.3 Metodika zpracování vzorků	39
3.3.1 Loužení v kyselině chlorovodíkové	40
3.3.2 Hodnocení reakce horniny na kyselé prostředí	41
3.3.3 Odhad obsahu karbonátů vážením	43
3.3.4 Stanovení obsahu karbonátů pomocí kalcimetrie	43
3.3.5 Odhad porozity a dalších parametrů	44
3.4 SEM	46
3.5 Lokality	47
3.6 Vrty	49
4 Výsledky výzkumu a diskuze lokalit	50
4.1 Obsah karbonátů	50
4.2 Výsledky pokusů s loužením	53

4.2.1 Pevnost hornin po loužení – celkový pohled.....	53
4.2.2 Porozita hornin	57
4.3 Mikrosonda.....	62
4.3.1 Zhodnocení vybraných vzorků.....	64
4.4 Zhodnocení lokalit na základě odebraných vzorků	76
4.4.1 Mělnicko a Mladoboleslavsko	76
4.4.2 Turnovsko	80
4.4.3 Podorlická křída	86
4.4.4 Vysokomýtská synklinála	88
4.4.5 Ústecká synklinála	92
4.4.6 Broumovsko (Polická pánev)	92
5 Diskuse.....	95
5.1 Kontrola správnosti postupu při loužení	95
5.2 Rozpad loužených hornin	98
6 Závěr	100
7 Literární Zdroje	102
8 Přílohy.....	107
8.1 Seznam lokalit a bližší popis konkrétních míst odběru	107
8.1.1 Mělnicko a Mladoboleslavsko	107
8.1.2 Turnovsko	113
8.1.3 Podorlická křída, Vysokomýtská a Ústecká synklinála	118
8.1.4 Broumovsko.....	122
8.2 Výčet anomálních vzorků k Obr. 4.9.....	125
8.3 Vizuální porovnání vzorků před a po loužení.	126

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Výsledek numerického modelu postupu reakční fronty rozpouštění halitu.

Obr. 1.2 Schema klasifikace podle Mounta (1985)

Obr. 2.1: Základní schéma ČKP

Obr. 2.2: Schéma stratigrafie výchozů ČKP

Obr. 2.3 Stratigrafická tabulka ČKP

Obr. 2.4: Mapa převládajících sedimentů ČKP.

Obr. 2.5 Klasifikace a názvy v sedimentární řadě: prachovec – jílovec – vápenec

Obr. 2.6 Rozdělení ČKP do bilančních celků

Obr. 2.7: Schema hlavní křídové zvodně boleslavsko-mělnického zvodnělého systému

Obr. 2.8: Zvodně a izolátory bc1

Obr. 2.9: Zvodně a izolátory bc2

Obr. 2.10: Schema podorlického zvodnělého systému

Obr. 2.11: Zvodně a izolátory bc9

Obr. 2.12: Zvodně a izolátory bc6

Obr. 2.13 Vysokomýtský zvodnělý systém

Obr. 2.14: Zvodně a izolátory bc7

Obr. 2.15: Schema Polické pánve

Obr. 3.1: Dělení jádra na tři části

Obr. 3.2: Nádoba s louženým vzorkem

Obr. 3.3: Nabídka laboratoří ČGS ke stanovení vápnitosti

Obr. 3.4: Mapa zobrazující všechny zpracované lokality

Obr. 4.1: Rozdělení všech vyhodnocených vzorků do jednotlivých úrovní

Obr. 4.2: Krabicový diagram hodnot RS zjištěných pro jednotlivé ÚR

Obr. 4.3 Rozdělení střednězrnných vzorků do jednotlivých úrovní

Obr. 4.4 Rozdělení jemnozrnných vzorků do jednotlivých úrovní.

Obr. 4.5 Rozdělení aleuropelitických vzorků do jednotlivých úrovní

Obr. 4.6: Rozdělení vzorků do jednotlivých úrovní a tříd

Obr. 4.7: Krabicový diagram zobrazující porozitu hornin před a po loužení

Obr. 4.8: Bublinový diagram zobrazující vztah původní porozity, relativní změny porozity a množství RS v hornině

Obr. 4.9: Graf zobrazující závislost obsahu RS na změně porozity.

Obr. 4.10: Závislost ÚR vyhodnocených vzorků na RS se zvýrazněnou polohou vzorků vybraných pro analýzu na mikrosondě.

Obr. 4.11: Porovnání obsahu Ca v hornině před a po loužení

Obr. 4.12 A, B: Funkce Al minerálů

- Obr. 4.13: K02B (Krpy)
- Obr. 4.14: K24G (Litá, Zbytka)
- Obr. 4.15: K4B (Sušno)
- Obr. 4.16: K29A (Choceň, v zářezu)
- Obr. 4.17: K29B (Choceň, v zářezu)
- Obr. 4.18: K13B (Sudoměř, hráz)
- Obr. 4.19: K18B (Rohozec, 2)
- Obr. 4.20: K21A (Poloslepé údolí Podhorčí)
- Obr. 4.21: K27A (Choceň, V nad zářezem)
- Obr. 4.22: K33B (Pod Hlavňovem)
- Obr. 4.23: K1: Pramen z výchozu ve Střížovicích
- Obr. 4.24: K2: Výchoz v Krpech
- Obr. 4.25: K4: Výchoz v Sušnu.
- Obr. 4.26: K13: Výchoz u hráze u Sudoměře
- Obr. 4.27: K14: Pramen u Sudoměře
- Obr. 4.28: K16: Pramen u Podkováňe
- Obr. 4.29: K11: Pramen u Pytlíkovského Mlýna s vyznačeným vstupem jeskyně
- Obr. 4.30: K37: Vstup do jeskyně
- Obr. 4.31: K19: Místo, kde voda z ponoru protéká hlouběji do Jeskyně šálení Smyslů
- Obr. 4.32: Nákres Jeskyně Šálení Smyslů.
- Obr. 4.33: K21: stěna uzavírající údolí a místo odběru vzorku
- Obr. 4.34: K23: Pramínek u Bartošovy Pece
- Obr. 4.35: Graf závislosti obsahu RS na poloze v profilu Rohozec.
- Obr. 4.36 Graf závislosti obsahu RS na poloze v profilu Zbytka.
- Obr. 4.37: K24: Panorama lokality Zbytka zobrazující oba úseky profilu.
- Obr. 4.38 K25: Detail rozšířené pukliny se sedimentární výplní
- Obr. 4.39: K26: Stěna lomu, ukazující typický způsob rozpadu místních spongilitů
- Obr. 4.40: K27: Koroze rozšířená puklina
- Obr. 4.41: K28: Hluboká dutina v železničním zářezu

Obr. 4.42: K30: Detail sintru na stěně lomu

Obr. 4.43: Graf závislosti obsahu RS na poloze v profilu Lo – 11 – 1. část

Obr. 4.44: Graf závislosti obsahu RS na poloze v profilu Lo – 11 - 2. část

Obr. 4.45: Graf závislosti obsahu RS na poloze v profilu Lo – 9

Obr. 4.46: Graf závislosti obsahu RS na poloze v profilu Lo - 15

Obr. 4.47: Typická textura slínovců z popisovaných vrtů

Obr. 4.48: Lo – 20 / 28,5 A,B: Kalcit vyplňující puklinu s několika ohlazeními způsobenými pohybem po zlomu a následným překryvem další vrstvou kalcitu.

Obr. 4.49: K31: Okrouhlá dutina v jeskyni V Dolech 1. Pohled vzhůru

Obr. 4.50: K35: Příklad sloupkového rozpadání na nejlépe rozvinutém profilu

Obr. 4.51: K36: Graf závislosti obsahu RS na poloze v profilu Vápeník

Obr. 5.1: Graf zobrazující porovnání odhadu při loužení vůči stanovení v laboratoři

Obr. 5.2: Histogram hodnot rozdílů mezi kalcimetrií a stanovením RS

Seznam tabulek

Tab. 1: seznam používaných parametrů

Tab. 2: Vybrané vzorky ke snímkování SEM

Tab. 3: Seznam všech navštívených lokalit

Tab. 4: Seznam vrtů, jejichž vzorky byly pro výzkum využity.

Tab. 5A, B: Výčet zpracovaných vzorků

Tab. 6: Výčet vzorků s měřenou porozitou

1 Úvod

1.1 Zaměření a cíle práce

Česká křídová pánev (dále jen ČKP) je nejdůležitější hydrogeologická struktura na území ČR se značnými zdroji a zásobami podzemních vod (Krásný et al., 2012). Přes tento význam dosud v řadě oblastí ČKP není jasné, čím jsou tvořeny preferenční cesty proudění podzemní vody. Jak ukázal již nestor české hydrogeologie Prof. Hynie (1961), největší prameny a tedy i nejpropustnější porozita není vázána na kvádrové pískovce, ale na tzv. přechodní facii, přesněji na oblasti přechodu mezi kvádrovými pískovci a hlubokovodnější facii slínovců a kalových vápenců. I nové poznatky o rozsahu a laterálním průběhu těles kvádrových pískovců, získané ze zpracování veškerých dosavadních karotážních měření na velkém množství vrtů (např. Uličný, 2009, nepublikované řezy připravované pro projekt Rebilance podzemních vod) ukazují, že velké prameny se často nachází mimo rozsah pískovcových těles, např. ve spodní části údolí Liběchovky nebo ve vysokomýtské a ústecké synklinále (Bruthans, ústní sdělení). Dosud chybí i základní představa o tom, jaký fenomén vytvořil silně propustné preferenční cesty proudění ukončené prameny o maximálních vydatnostech až přes 100 l/s (např. Mělnická Vrutice nebo Petrovy prameny u Brněnce).

Práce Štaffena (1999, 2009) ukázala, že v řadě oblastí ČKP, kde se lze setkat s velkými prameny, se nachází tenké polohy pískovců či prachovců s vysokým obsahem karbonátu a to i ve stratigrafických úrovních odpovídajícím kolektorům (např. ve vysokomýtské a ústecké synklinále). Z. Štaffen za základě velmi početných měření obsahu CaCO_3 ve vrtných jádrech v různých oblastech ČKP označil kalcit za druhý nejvíce zastoupený minerál v ČKP po křemenu. Nelze tak vyloučit možnost, že mohutné prameny v ČKP jsou dotovány krasovými kanály a krasová porozita má mnohem větší význam než se dosud předpokládalo. V hrubých rysech nicméně platí, že nejvyšší obsah karbonátu mají hlubokovodní sedimenty labské faciální oblasti, která má naopak vůbec nejnižší propustnost (např. Herčík et al. 2003). Rozhodně tedy nelze očekávat přímou korelaci mezi obsahem karbonátu a propustností a bez detailnějšího studia nelze z obsahu karbonátu mnoho odvodit.

Jako kras se podle moderní definice Klimchouka et al. (2000), označuje území, kde naprostá většina vody proudí druhotně rozšířenými kanály, vzniklými rozpouštěním okolní horniny vesměs z puklin a mezivrstevních spár s původně nepatrným rozevřením. Podmínka, že kras mohou tvořit jen velmi čisté vápence, byla již v minulosti z definice vypuštěna, protože i v pískovcích a slepencích s karbonátovým tmelem vznikají jevy obdobné jevům

z vysokoprocentních vápenců (Klimchouk et al. 2000). V ČKP byl kras popsán ve vápencích až vápnitých pískovcích na Kutnohorsku (např. Schwartz a Lochmann (1966), Bruthans et al. (2003), ve vápnitých pískovcích na Turnovsku (Bruthans et al., 2001) a určité indicie naznačují jeho přítomnost v dalších oblastech na východě ČKP (Bruthans et al. 2011). Horniny, které dovolují vznik krasu a krasového reliéfu jsou podle Panoše (in Příbyl et al., 1992) například vápence, dolomity i klastické horniny s rozpustným karbonátovým tmelem.

Vznik krasu v horninách flyše, tvořeného vápnitými pískovci a slínovci, popisují Mochiutti a Maddaleni (2005). Ve vyvinuté jeskyni Grotta nouva di Villanova popisují zkrasovělé vrstvy vápence s obsahem přes 90 % karbonátů, většinu profilu ve stěně jeskyně však tvoří slínovce s obsahem karbonátu 30 – 50 % a dále tenké vrstvy vápnitého pískovce a jílovce.

Primární cíl práce bylo zjistit, jak se budou horniny pocházející z různých oblastí ČKP a s různým obsahem karbonátů chovat v kyselém prostředí. Vzorky hornin byly louženy v HCl k urychlení procesu rozpouštění karbonátů, ke kterému v přírodě dochází působením srážkové vody s rozpuštěným CO₂. Výzkum navazuje metodikou na bakalářskou práci Martina Slavíka (2012), který podobným způsobem používal kyseliny ke zjištění reaktivnosti povrchů horniny. Oproti tomu se tato práce zabývá případným rozpadem malých válečků, které byly z jader horniny zhotoveny. Válečky jsou v kyselém prostředí ponechány až do úplného rozpuštění veškeré rozpustné složky (dále jen RS). Podle toho, jak moc narušilo loužení jejich strukturu, jsou děleny do pěti úrovní rozpadu (dále jen ÚR). Na základě těchto dvou parametrů je diskutováno, zda a v jakém rozsahu umožňují popsané horniny vznik krasové porozity.

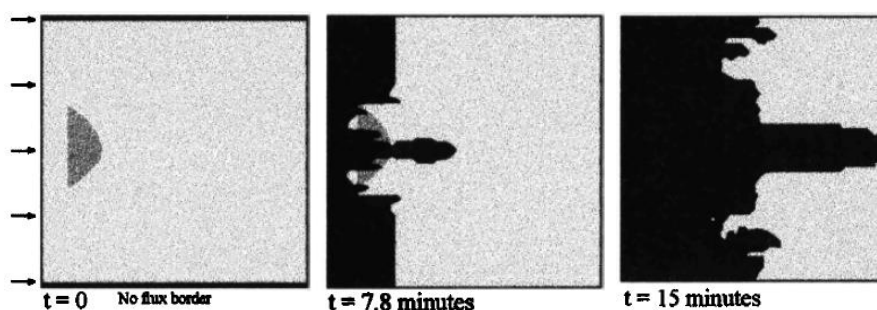
Při výběru hornin k vzorkování jsme se se školitelem zaměřovali na horniny s neznámým obsahem karbonátu. Horninám, u kterých z podstaty sedimentace nelze předpokládat vyšší obsah karbonátu, jako jsou kvádrové pískovce (sedimentované jako hrubozrnné delty, Uličný 2001), jsme se spíše vyhýbali. Měření jsme neprováděli ani na vápencích a vápnitých pískovcích Miskovického krasu u Kutné Hory s vysokými obsahy karbonátu, protože obsahy zde byly stanoveny dosti detailně při průzkumu cementářských surovin (Hašlar 1973) a o krasové porozitě v tomto území nikdo nepochybuje.

1.2 Sebeorganizace a vznik krasové porozity

Podle Ortolevy et al. (1987a) je sebeorganizace samovolný přechod systému, ve kterém nejsou patrné žádné vzory, do stavu s opakujícím se vzorem. K takovému přechodu vyžaduje

systém existenci zpětné vazby a určitou prvotní nehomogenitu. Geochemické systémy splňují oba předpoklady. Z projevů sebeorganizace v přírodě lze uvést: Koncentrace rozpuštěných a vysrážených látek v pórové vodě a v hornině (ložiska uranu), zvětrávací fronty v tropickém prostředí, kras, skarn (Ortoleva et al. 1987b).

Když reaktivní tekutina protéká porézní horninou, může rozpouštět v ní obsažené minerály, dokud nedojde k dosažení vyrovnaného stavu (Ortoleva et al. 1987b). Rozpuštěním pevných látek se bude navyšovat porozita a propustnost horniny. Tím se spustí pozitivní zpětná vazba, které může vést k tvorbě komplexních reakčních front, které obvykle přechází z původně planárního tvaru při povrchu do tvaru podobného prstům ruky. To může zapříčinit i původně nevýznamná nesourodost horniny (Renard et al., 1998). Pokud je samotná hornina rozpustná, stávají se z prstů kanálky, které dále usměrní tok vody (Ortoleva et al. 1987b). Systém se dále z původně nevýznamných kanálků procesem rozpouštění vyvíjí prostřednictvím pozitivní zpětné vazby do usměrněného drenážního systému, známého z typicky krasových oblastí (Ortoleva 1987a). Pozitivní zpětná vazba zde funguje tak, že v místě s původně nejefektivněji vedenou puklinatostí se začnou rozpouštěním horniny rozšiřovat do okolí nové kanálky a stahovat více vody z okolí. S nárůstem průtoku bude narůstat i rychlost eroze původní horniny (Klimchouk et al. 2000).



Obr. 1.1: Výsledek numerického modelu postupu reakční fronty rozpouštění (černá oblast) halitu (světle šedá oblast) s původní nehomogenitou (tmavší srpek vlevo) a její rychlý přechod do tvaru prstu. Nehomogenita měla původní porozitu 25% a okolní halit 23% (Upraveno podle Renarda et al., 1998).

Zatímco samotné vápence v původní celistvé formě jsou puklinově propustné podobně jako běžné horniny krystalinika, s postupem času dochází jejich rozpouštěním k rozšiřování puklin ve výborně propustné krasové kanály a nárůstu propustnosti o mnoho řádů (Panoš in Příbyl et al., 1992). Ve chvíli, kdy některý z krasových kanálků dosáhne na zemský povrch v oblasti drenáže, hydraulická výška v kanálku klesne a jeho drenážní účinek se následně zvětšuje na úkor méně „úspěšných“ kanálků (Klimchouk et al., 2000). Tím je přeorientováno

původní proudění vody směrem k tomuto kanálku a takovým způsobem se utváří systém, který velmi efektivně drénuje plošně rozlehlé území do několika soustředěných krasových pramenů.

Sebeorganizace proudění se popisuje jako systémové rozšiřování cest proudění jak rozpouštěním, tak jinými procesy (Klimchouk et al., 2000). Je to tedy pojem, který zahrnuje fenomény jako kras, pseudokras, ale i další, které se projevují v přechodných litologiích. U takových jevů často nelze jednoduše rozhodnout, zda rozpouštění hraje nějakou významnou roli (Bruthans et al. 2011). Sebeorganizace proudění a porozity se mohou uplatnit i v pískovcových horninách, které neobsahují rozpustný karbonátový, ale pouze kaolinický tmel, (Bruthans et al., 2011). Taková území podle definice nelze označovat jako krasová. Kanály se v pískovcových tělesech šíří na úkor bločků mezi puklinami tektonicky postiženého pískovce. Zatímco tektonicky zpevněné povrchy puklin v pískovci jsou erozi odolné, bloček mezi nimi se erozí rozpadá a tím uvolňuje značný prostor k proudění vody (Bruthans et al., 2013), která zpevněný povrch puklin nedokáže dále erodovat. Takový kanál se může šířit v příhodném prostředí i rychlostí 100 m / den (Soukup et al., 2013). Tento mechanismus mohl stát za vznikem mnoha útvarů pískovcových skalních útvarů ČKP (Bruthans et al., 2013). Takový fenomén je podle nich sebeorganizovaný podobně jako říční síť, protože se rozšiřuje proti směru proudění vody.

Podle Panoše (1965) není rozdělování hornin na „krasové“ a „nekrasové“ vůbec vhodné, protože nedostatečně vystihuje skutečnost, že vždy popisují kombinaci chemického rozkladu původní struktury a mechanického odnosu uvolněných složek. Všechny případy rozšířené porozity jsou potom buď:

- a) primárně vzniklé vlivem endogenních sil (např. tunely ve vulkanických tělesech)
- b) vzniklé společným působením eroze a koroze v rozpustných horninách (kras).
- c) vzniklé v důsledku mechanického rozpadu hornin (např. pískovcová města)

Pojem pseudokras odmítají i Eberhart a Sharples (2013), který jevy degraduje na jevy něčemu podobné a nevyjadřuje jejich podstatu. Navrhují, aby se takové úkazy popisovaly podle toho, jakým způsobem vznikají. V opačném případě je pojmenování jevu závislé na tom, k čemu ho autor přirovná, a to se obvykle odvíjí od toho, jakého zaměření je autor toho přirovnání.

Kalcit zaujímá v karbonátových horninách ČKP z karbonátů hlavní podíl (Štaffen, 1999). Ve vodě bez CO_2 je rozpustný jen minimálně, ovšem vsakující se srážková voda je ovlivněna stykem s relativně vysokou koncentrací půdního CO_2 , který se v ní rozpouští za vzniku kyseliny uhličitě - H_2CO_3 , která disociuje na HCO_3^- a CO_3^{2-} (Cílek et al., in Příbyl et al., 1992). Ten potom může rozpouštět kalcit podle rovnice: $\text{HCO}_3^-_{\text{aq}} + \text{CaCO}_3 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_{2\text{aq}}$.

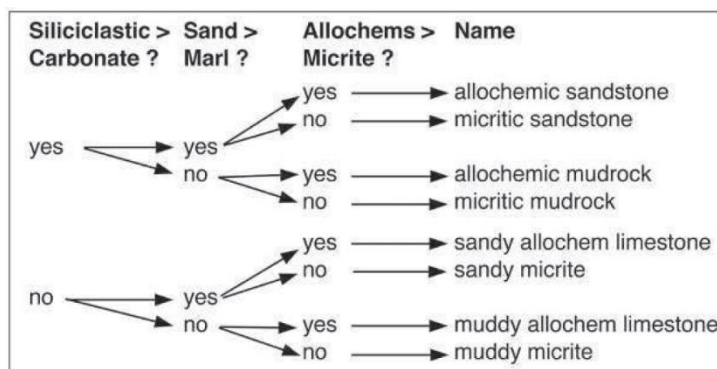
1.3. Klasifikace vápnitých hornin

Vápence jsou podle svého původu děleny na *autochtonní* a *alochtonní* (Sweeting, 1972). Autochtonní vápence vznikaly *in situ*, akumulací organických struktur, bez dalšího transportu. Alochtonní vápence jsou tvořeny přemístěným detritem, úlomky schránek, pobřežními sedimenty, bahnem atd., včetně biochemogenních sedimentů.

Autochtonní vápence tedy obvykle představují vysokoprocenní vápence, kterým se tato práce věnuje minimálně, na rozdíl od alochtonních sedimentů. Ty se mohou dělit na *kalcirudit* (průměr zrn přes 2 mm), *kalkarenit* (průměr zrn 0,062 – 2 mm) a nejjemnější *kalcilutit* (Sweeting, 1972). Tmel alochtonních sedimentů obvykle tvoří kalcit.

Základy současné klasifikace vápnitých hornin položil Folk (1959). Zmíněné *allochemy* shrnuje do vlastní kategorie a jako další kategorii popisuje *mikrit*, tvořený nejjemnějšími biochemogenními sedimenty a *sparit*, který obsahuje hrubší (přes 10 μm) krystalky kalcitu,

jež vznikly rekrystalizací během diagenese. Protože krystalky obsažených minerálů jsou extrémně malé a mohly v průběhu diagenese měnit své původní zastoupení, doporučuje Sweeting (1972) velkou obezřetnost při používání Folkovy klasifikace, ze které vycházel



Obr. 1.2 Schema klasifikace podle Mounta (1985)

pro českou klasifikaci např. Konta (1967). Pro klasifikaci smíšených allochemních karbonátových hornin nabízí Mount (1985) systém názvů s předponami, který popisuje horniny podle hlavní zastoupené složky a podle způsobu jejich vzniku. Hlavní složky hornin zde jsou: siliciklastický písek (písčítá zrna křemene, živce atd.), nekarbonátový kal (prach, jíl), karbonátová zrna a allochemy (bioklasty > 20 μm) a karbonátový kal (mikrit, krystalky < 20 μm). Na Obr. 1.2 je přiblíženo schéma této klasifikace, která je využívána v praktické části práce. V textu je většinou využívána česká klasifikace.

2 Geologie ČKP

2.1 Základní informace o ČKP

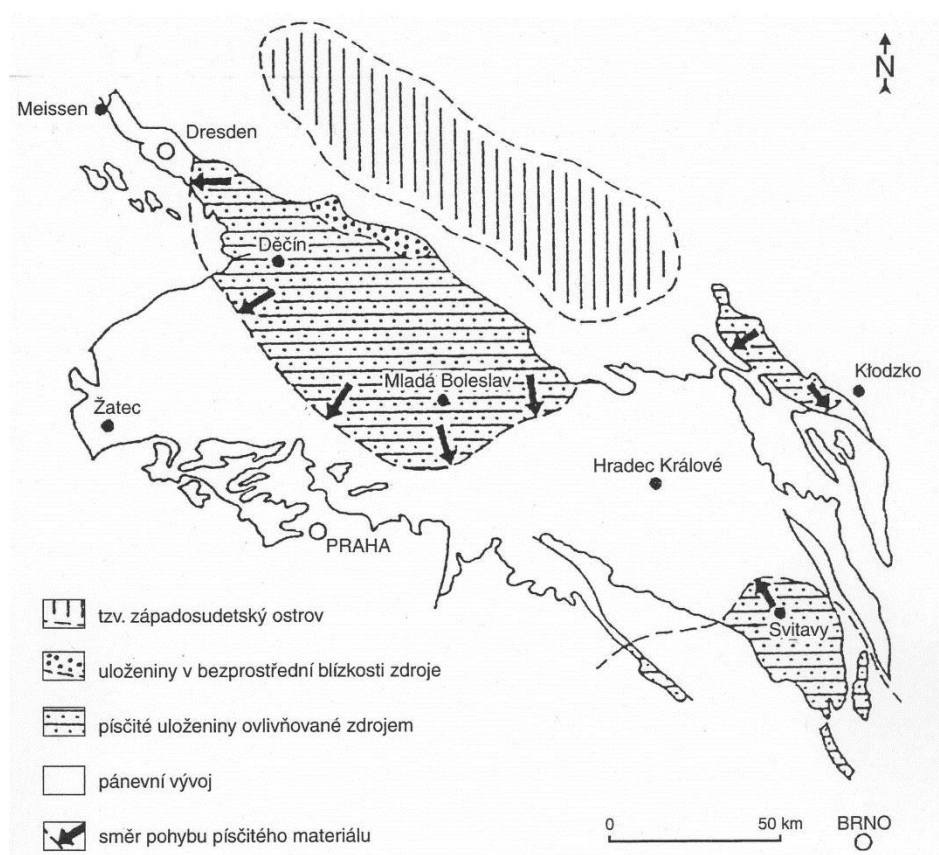
ČKP je v rámci Českého masivu největší pánevní struktura se současnou rozlohou 14 600 km², ze kterých 12 490 leží na území České Republiky (Herčík et al., 2003). Původní rozsah byl ještě mnohem větší. Denudací sedimentu během výzdvihu v kenozoiku došlo ke ztrátě záznamu většiny nejmladších sedimentů, ze kterých zde zůstaly jen vzácné fragmenty většinou překryté terciárními vulkanity. Odneseno bylo až 500 m sedimentu, především v centrálních oblastech pánve. (Uličný et al., 2003). Současné hranice ČKP jsou vyobrazeny na Obr. 2.1.

V průběhu období křídý zaplňovala ČKP terénní depresi, která spojovala tehdejší boreální oblast s oceánem Tethys, kterému tvořila šelfovou zónu (Čech 2011). Původ deprese sahá až do období hercynského vrásnění, kdy bylo toto místo oslabeno řadou zlomů. Vzniklá deprese byla využívána k sedimentaci již v období karbonu. Transgrese moře probíhala souběžně se vznikajícím Karpatským orogénem. Její hloubka i rozsah se měnily, protože se období subsidence střídaly s obdobími zpětného vynořování pevniny. Hloubka křídového moře obvykle nepřesahovala 100 m (Uličný et al., 2009a). V okolí deprese byly zbytky vynořené pevniny (Středoevropský ostrov, Západní a Východní sudetské ostrovy), které sloužily jako bohatý zdroj křemičitého klastického materiálu (Uličný et al., 2014). Z důvodu mnoha vnitropánevích zlomů, které byly v průběhu formování ČKP různě aktivní, a také několika vymezeným sub-pánvím navrhuje Uličný et al. (2003) používání pojmu „pánev systém“.

Pánev systém ČKP byl aktivní necelých 11 milionů let a mocnost výplně většinou nepřesahuje 1 km (Uličný et al., 2003) Průměrná mocnost sedimentů je 200 – 400 m (Herčík et al., 2003). Reaktivace hlavních zlomových zón variského podloží v období střední křídý zformovala podloží ČKP. Hlavní roli už pak ukládáním mocných vrstev sedimentu hrála mořská transgrese (Čech 2011). Další oživení zlomových pásem se označuje jako saxonská tektonika. Některé pohyby podél zlomů činily až 1000 vertikálních metrů. Nejvýznamnější subsidence byla tvořena Lužickou poruchou při JZ břehu západosudetského ostrova (Valečka, 1976). V některých místech Lužické poruchy (např. Malá Skála u Turnova) byly na sedimenty pánve nasunuty horniny krystalinické, permské či jurské (Zahálka, 1902). Uličný et al. (2009b) popisuje tři hlavní směry orientace zlomů: Labské (sudetské) zlomy – směr ZSZ, SZ, SSZ, jizerské zlomy – směr SSV a oherské zlomy – směr V a SV. Labské a sudetské zlomy

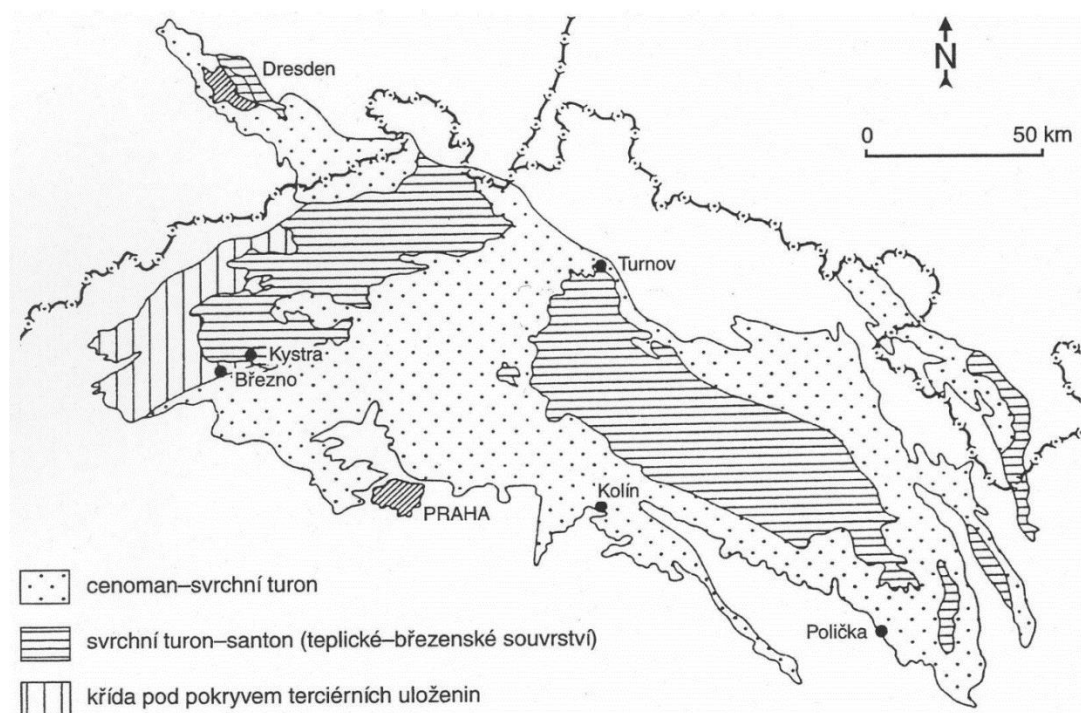
na severním okraji ČKP tvoří lužickou zlomovou zónu a na jihu ČKP labsko – železnohorskou zlomovou zónu. Jizerské zlomy propojují ostatní zlomy a tím vytváří hlavní cestu drenáže většiny podzemní vody ČKP (Hynie, 1961).

Uličný (1997) navrhl rozdělování historie pánve do tří hlavních fází podle dynamiky tektoniky a sedimentace. Fáze I zahrnuje střední až pozdní cenoman. Ve Fázi II, která trvala od pozdního cenomanu do raného coniacu, byla ČKP nejvíc rozvinutá. Fáze III regresně ukončuje sedimentaci v ČKP a trvá od středního coniacu do santonu. Tato práce se věnuje sedimentům vzniklých ve fázi II, tudíž jim bude věnováno nejvíc prostoru. V tu dobu až spodním santonu, kdy byl rozsah pánve značný, lze dělit sedimenty pánevního systému na dvě hlavní facie: facie kvádrových pískovců (resp. pobřežní) a slínovcová (resp. hlubokomořská) facie (Chlupáč et al., 2011). Zatímco tělesa kvádrových pískovců vznikala tam, kde byl dostatek přineseného klastického materiálu, plochy uložených slínovců byly od tehdejšího pobřeží vzdáleny. Nejvýznamnější depocentrum (Lužicko – Jizerská subpánev) se nachází jižně od Lužické poruchové zóny, kde se ukládaly mocné písčité delty Gilbertova typu (Uličný et al., 2003).



Obr. 2.1: Základní schéma ČKP (Herčík et al. 2003)

2.2 Litofaciální vývoj a stratigrafie ČKP



Obr. 2.2: Schéma stratigrafie výchozů ČKP (Čech in Chlupáč et al., 2011).

Sedimentace ČKP začíná v cenomanu či svrchním albu (Čech et al., 1980). Charakter sedimentární výplně ČKP se měnil v průběhu vývoje pánve. Současné výchozy souvrství jsou vyobrazeny na Obr. 2.2. Základ pánevní výplně tvoří **perucko – korycanské souvrství**, které často figuruje jako podloží dalších sedimentů ČKP (Chlupáč, 2011). Interpretuje se jako sladkovodní, brakické a mělkomořské (Čech, 1980; Uličný et al., 2009a), které se vlivem oscilací hladiny často v jednom řezu překrývají. Protože transgrese moře pomalu překrývala sladkovodní prostředí na pevnině, vznikaly sedimenty velmi různorodé – od hrubozrnných slepenců až po jílovce (Valečka, 1976). Souvrství většinou tvoří vrstvy kaolinických pískovců, jílovitých prachovců až jílovců, ve svrchních vrstvách mírně vápnité. Cenoman není vůbec vyvinutý v některých, plošně nepříliš rozsáhlých oblastech pánve, např. na Novoměstsko – holické vyvýšenině (Uličný et al., 2009a). Horní hranice souvrství je pozorovatelná také pomocí chemostratigrafie CaCO_3 jako diskordantní křivku, která směrem do mladších sedimentů prudce narůstá (Pokorný a Jiroudková, 2012; Štaffen, 1999).

V turonu a coniacu se ČKP tektonicky pohybovala v rámci přeskupení napětíového pole v Evropě (Uličný et al. 2003). Při nastupující transgresi se ukládaly aleuropelity (slínovce, vápence) i v nejvyšších oblastech pánve, kde mohly překrývat tělesa psamitů (pískovce, prachovce) a také sedimentovat na dosud suchozemských lokalitách (Valečka, 1976).

Po prudkém nárůstu hladiny na začátku turonu pokračoval stálý, ale pomalejší nárůst hladiny (Valečka a Skoček, 1991). Ačkoli globálně dochází od turonu k regresi moře, v ČKP rychlost transgrese neustále narůstala v důsledku jejího epeirogenního potápění. (Valečka a Skoček, 1991). Ve středním turonu byla hladina moře na minimu. Kromě toho je v ČKP možné pozorovat eustatické pohyby hladiny s periodou kolem 100 tisíc let. (Uličný et al., 2014). Rychlost poklesu pánevního dna narůstala ze 70 m/Ma ve spodním turonu až na 300 m/Ma ve spodním coniacu (Uličný et al., 2009a)

Ve spodním až středním turonu vznikalo **bělohorské souvrství**, nasedá na hiát. Typické horniny jsou mělkovodní mořské vápence a spongility (Čech, 1980). V severozápadní části ČKP dominují kvádrové pískovce v místech, kam dosahoval přínos klastického materiálu. Mocnost souvrství dosahuje ve slínovcové facii až 30 m, v pískovcové facii až 120m (Herčík et al., 2003). Nejužší místo sedimentační pánve nadále tvořil prostor mezi Drážďany a Děčínem (Valečka, 1976). Regionální proudění mořské vody směřovalo na ZSZ (Valečka a Skoček, 1991)

V Lužicko – Jizerské subpánvi na severu ČKP se do nejstarších vrstev bělohorského souvrství (TUR1) ukládaly sedimenty především na SZ okraji pánve při Lužické poruše, ale později dlouhodobě progradovaly až k Jizerské poruchové zóně v období TUR3 (Uličný et al., 2009a). Rychlost sedimentace bělohorského souvrství byla relativně nízká a silné proudy odnášely jemný sediment dále od pobřeží. Směr progradace byl určován především tektonickými pohyby podloží.

Pokračující sedimentace utvořila **jizerské souvrství**, které vznikalo ve středním až svrchním turonu. V centru pánve nadále dominovaly silně vápnité jílové sedimenty (Čech, 1980), v místech s trvalým přínosem klastického materiálu blízko Lužické poruchy se vytvořily až 400 m mocné vrstvy pískovců. Většinou se jedná o vápnité pískovce, pouze poblíž lužické poruchy jsou to častěji křemenné pískovce (Herčík et al., 2003). Směrem k JZ pánve se mocnost souvrství snižuje až na pouhých několik metrů, ve slínovcové facii zaujímá obvykle 100 – 200 metrů profilu (Čech, 1980). Regionální proudění mořské vody změnilo směr na JV (Valečka a Skoček, 1991).

Rychlost sedimentace v Lužicko – Jizerské subpánvi stále narůstala. Hlavní směr ukládání se v období TUR4 z důvodu regrese posunul na JV, kde docházelo k poklesu v prostoru poruchové zóny Skalského potoka – až 70 km daleko od zdrojové oblasti. (Uličný et al., 2009a). V období TUR5 ustala v subpánvi většina tektonické aktivity a písčité sedimenty se ukládaly

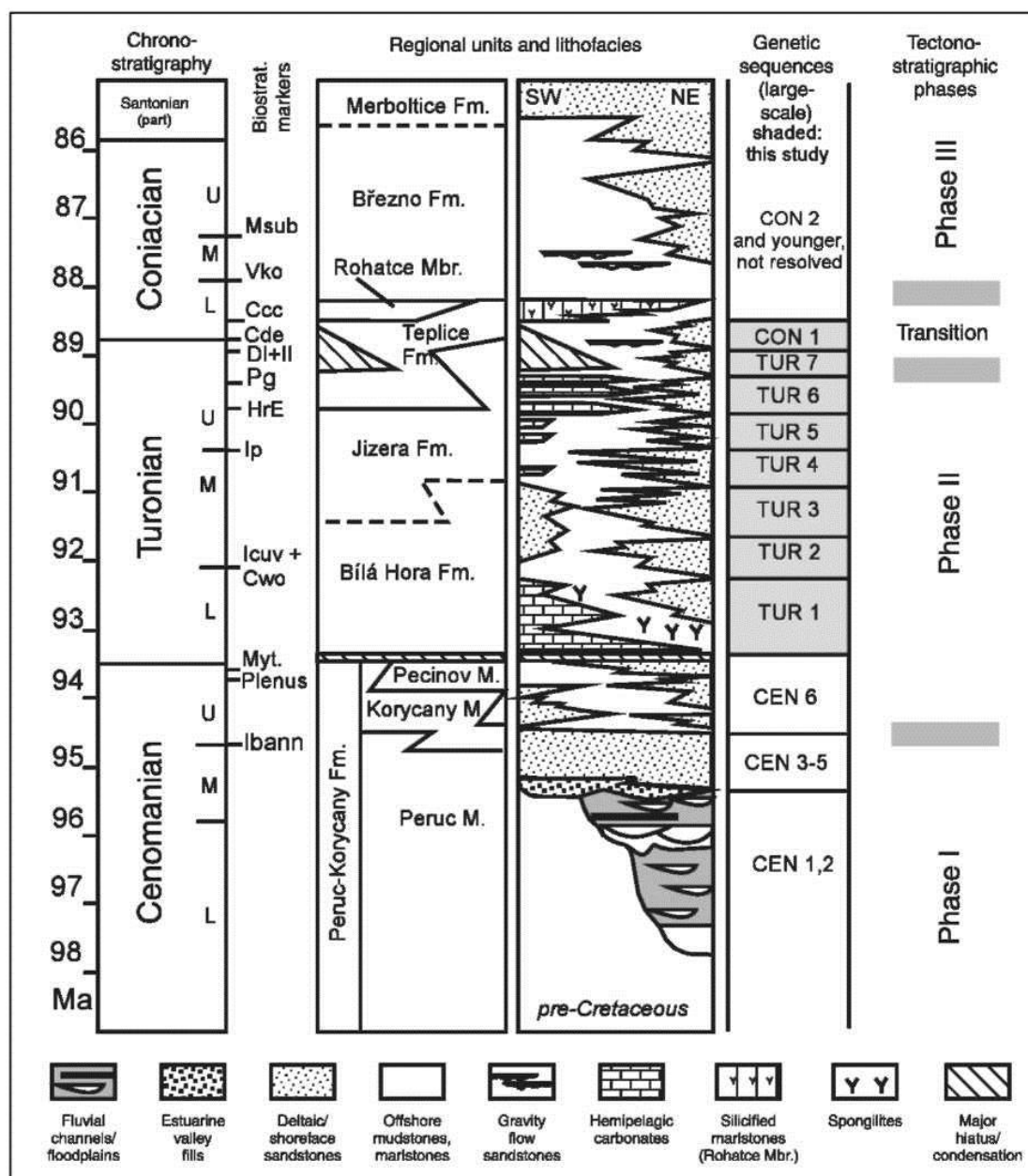
spíše rovnoměrně, blíže ke zdroji. Od počátku TUR6 lze na subpánev nahlížet jako na pull-apart strukturu, která cyklicky poklesala. Zároveň se hlavní zdrojová oblast Západosudetského ostrova začíná posouvat k východu a v období TUR7, kdy byla rychlost sedimentace pravděpodobně nejvyšší, tvoří mocné vrstvy pískovců jizerského souvrství v oblasti Jizerské poruchové zóny.

Čech (1980) popisuje na písčitých sedimentech bělohorského a jizerského souvrství na většině rozlohy ČKP progradační cykly postupně hrubnoucích sedimentů. Každý cyklus začíná slínovci či velmi jemnozrnnými pískovci a končí střednězrnnými až hrubozrnnými pískovci (Valečka a Skoček, 1991).

Nad dalším hiátem se nachází **teplické souvrství** (Valečka a Skoček, 1991), které svými slínovci mnohde překrylo pískovce jizerského souvrství. Většina sedimentů je monotónní sekvence slínovců někde přecházející v prachovce (Krutský, 1982) z důvodu značné plošné redukce zdrojových oblastí psamitů (Herčík et al., 2003). Mělkovodní vápence jsou přítomny jen vzácně (Čech, 1980). Mocnost vrstev je většinou 30 – 80 m, lokálně je však redukována na pouze několik metrů. Území, kde v období CON1 sedimentovaly písčité sedimenty, je omezeno na blízké okolí Lužické poruchy a oblast Českého Ráje, kde koncentrovaná sedimentace relativně vysokou rychlostí vytvořila v původně hlubších vodách pánve mocné vrstvy hrubozrnného pískovce (Uličný et al., 2009a).

V rámci teplického souvrství se definují **rohatecké vrstvy**. Jejich mocnost se pohybuje v rozmezí několika centimetrů až po 40 metrů (Čech, 1980). Typické horniny jsou mělkovodní jílovce až slínovce s vložkami silicifikovaných sedimentů či čistších vápenců.

Nejvyšší polohy ČKP většinou tvoří **březenské souvrství**. Ve většině oblastí je už značně postiženo erozí, avšak jeho původní mocnost mohla mít až přes 500 m. V úplnosti ho nacházíme jen v Českém středohoří (Chlupáč et al., 2011). Na většině rozlohy ČKP je souvrství charakteristické mělkovodními vápnitými jílovci a slínovci s velmi nízkým obsahem vápnité složky (Čech, 1980). Křemenné pískovce jsou přítomny poblíž SV a JJV okraje pánve. V Českém Středohoří se ještě nachází **souvrství merbolitické**, které je regresní (Valečka a Skoček, 1991). Většinu hornin tvoří jemné až střednězrnné jílové pískovce. Tím končí v santonu sedimentace v ČKP. Všechna souvrství jsou vynesena v souhrnné tabulce na Obr. 2.3.



Obr. 2.3 Stratigrafická tabulka ČKP podle Uličného (2009a) a srovnání s členěním na souvrství.

2.3 Sedimenty ČKP a jejich klasifikace

Častou vlastností křídových sedimentů je vysoký obsah vápnité složky (Čech, 1994; Štaffen, 1999) a tak je možné k popisu stratigrafie využít nejen klasické metody lito- a biostratigrafie, ale také metodu chemostratigrafie. Podle Štaffena (1999) má nejlépe pozorovatelný průběh křivky obsah karbonátů (předně kalcit) a dále křemen, živce a slídy. Akumule kalcitu se objevují v pobřežním i vzdálenějším pásmu (Valečka a Skoček, 1991), ale v mělkých vodách je omezena na zátoky izolované od hlavních zdrojů hrubozrnných

sedimentů. Zastoupení vápnité složky v horninách není nijak závislé na faciálních změnách litologického vývoje vrstev a souvrství (Štaffen, 1999).

Podle Krutského (1982) jsou v české křídě zastoupeny slínovce a jílovce s obsahem karbonátových i jílových minerálů v obvyklém rozmezí zhruba 15 – 85 %. Obsah vápnité složky hornin je řízen především zastoupením bioklastů v sedimentu. Mocnost rozlišitelných vrstev a koncentrovanost vápnitých sedimentů je závislá na rychlosti sedimentace. Její zpomalení znamená vyšší obsah CaCO_3 v méně mocné vrstvě. Rychlejší sedimentace vytvoří mocnější vrstvy s nižším obsahem karbonátu (Štaffen, 1999). Proto je obsah vápnité složky kvantitativně inverzní k obsahu křemene. Valečka a Skoček (1991) popisují u hlubokomořské facie tři fáze sedimentace vápnitých sedimentů. První fáze začíná silněji vápnitými horninami na bázi bělohorského souvrství, dále však obsah kalcitu klesá. Ve druhé fázi, která pokrývá většinu jizerského souvrství, po celou dobu se vzájemně střídají slínovce a vápence. Ve třetí fázi, která náleží teplickému souvrství, je střídání slínovců a vápenců ještě rychlejší - v řádu 40 – 50 tisíc let.

Značnou segregaci jemnozrnných sedimentů a hrubozrnných klastik pravděpodobně způsoboval velký rozdíl hustot mořské vody v pánvi a sladké vody v řekách. Sladká voda nesoucí jemný kal se tím držela v hypopyknickém mraku při hladině a putovala do vzdálenějších oblastí ČKP, kde se jemnozrnný materiál mohl pomalu usazovat vypadáváním ze suspenze (Uličný et al., 2003). Krutský (1982) pozoroval změnu v poměru jílovitých minerálů přítomných v sedimentech ČKP. Kaolinit, který do středního turonu dominoval a většinou převládal ve svrchním turonu, je v coniacu nahrazen (někdy úplně vytlačen) illitem. To může svědčit o změně intenzity zvětrávání hornin v souvislosti se změnou paleoklimatu, případně o změně hlavních snosových oblastí.

Dále budou popsány hlavní facie, v zjednodušeném hydrogeologickém pohledu ve smyslu O. Hyního (Hynie 1961). Rozdělení facií je vyobrazeno na Obr. 2.4.

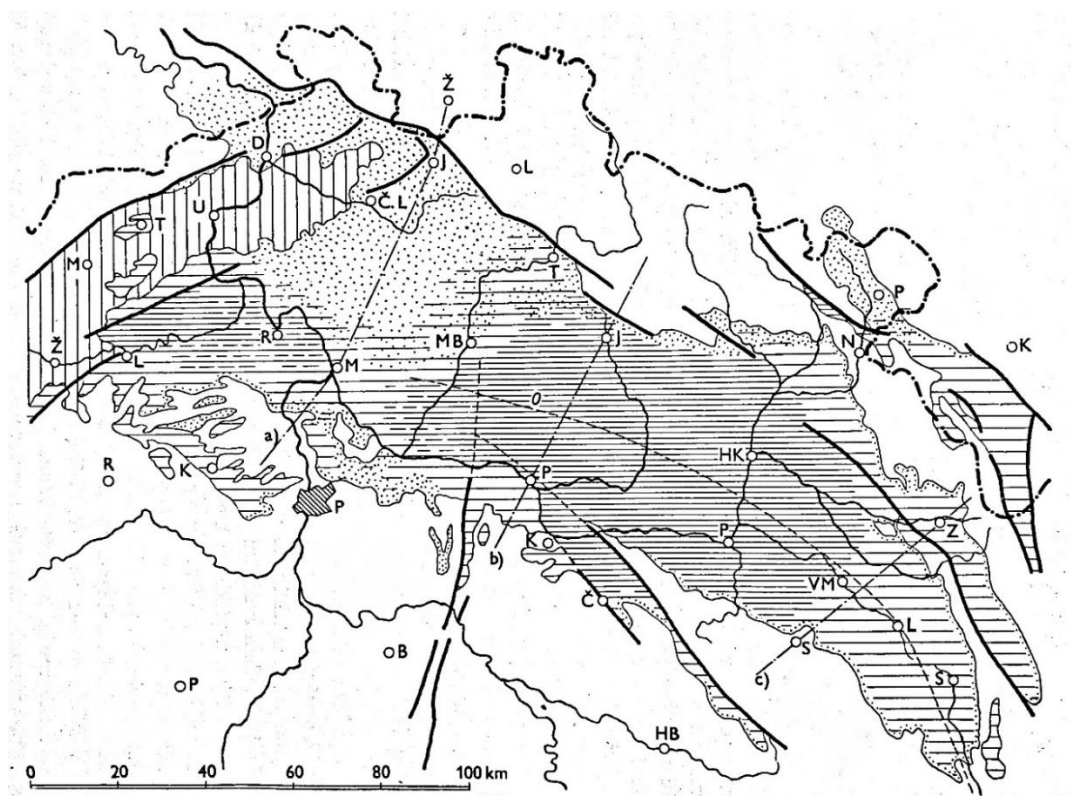
2.3.1 Pískovcová facie

Hlavním zdrojem hrubých psamitických detritů byl západosudetský ostrov (Valečka, 1976). Nejvíce hrubozrnné pískovce proto nalézáme v blízkosti Sudetských ostrovů, na severu pánve. Pískovce východočeské křídly a jejich moravských výběžků jsou jemněji zrnité. Nejjemněji zrnité pískovce má jihozápadní křídlo pánve (Hynie, 1961).

V mnoha pracích se lze setkat s pojmem kvádrové pískovce. Tím se označují velmi dobře vytríděné křemenné pískovce s minimem tmelu a kvádrovou odlučností (Hynie, 1961). Takové pískovce tvoří známá skalní města, kaňony řek či stolové hory (Uličný, 2001). Odhalení textury pískovců ve skalních městech umožňuje interpretovat celkový tvar původních těles jako 3D model. Pískovce s velmi malou příměsí jemnozrnného materiálu ve forsetových faciích podle Uličného et al. (2003) značí vliv silného slapového proudění, které dominovalo v průběhu sedimentace a odnášelo jemné částice dál do centrálních částí pánve. Homogenita mocných vrstev kvádrových pískovců je podle Uličného et al. (2009a) způsobena tím, že poměrně strmé svahy písčitých delt nedovolovaly v období *lowstandu* překrývání bahnitým sedimentem, která byla roznesena dále od pobřeží.

2.3.2 Facie přechodných hornin

Jako horniny přechodní facie Hynie (1961) rozumí celý soubor hornin písčitých slínovců s přechody do slinitých pískovců. Tento soubor zahrnuje křemité spongility, rohovce, pískovce spongilitové, jílovité, vápnité i křemito-vápnité, případně glaukonitické. Tyto horniny tvoří velkou část sedimentů ČKP.



Obr. 2.4: Mapa převládajících sedimentů ČKP. Tečkovaná plocha: facie pískovců; hustě šrafovaná plocha: facie slínovců; řídko šrafovaná, případně i tečkovaná plocha: facie přechodných hornin; svislá šrafa: křída překrytá třetihorními sedimenty. (Hynie, 1961)

V horninách přechodní facie většinou převládá kapilární propustnost a proto je jejich transmisivita omezena malou rychlostí průlinového proudění (Hynie, 1961). Některé tyto horniny, zejména spongility, jsou velmi křehké a tudíž značně rozpukané. V takových horninách převládá puklinové proudění vody.

Zvláštní skupinu hornin přechodní facie tvoří vápnité slínovce a jílovité vápence. V těchto horninách se vlivem jejich rozpukání a následného rozpouštění projevují krasové jevy, i když většinou pouze v zárodečném stádiu. Hynie (1961) zmiňuje např. krasové prameny vyvěrající z turonských vápnitých slínů u České Třebové.

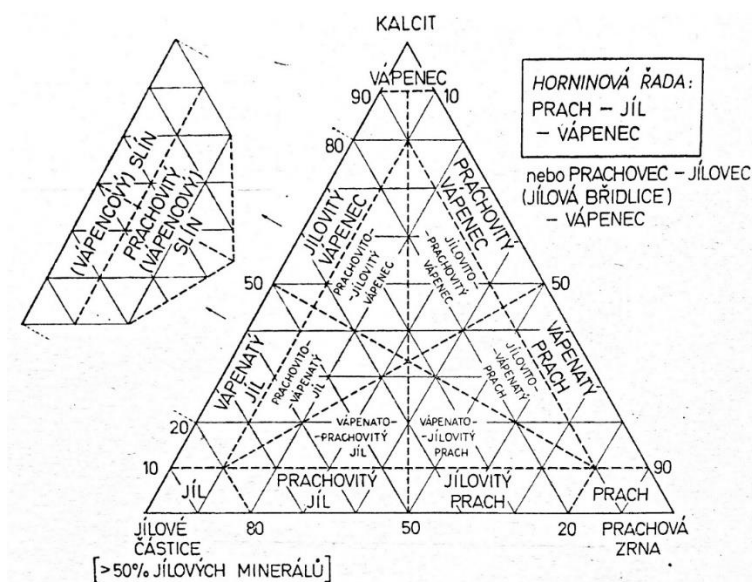
Zatímco pro oblast pánví Severního Moře střední a západní Evropy jsou typické facie psací křídly (mikritické vápnité horniny), na našem území nalézáme podobnou pevnou vápnitou horninu tvořenou prachem, jílem a karbonáty – „opuku“ (Chlupáč et al., 2011). Petrograficky patří do řady jílovec-vápenec-silicit-prachovec-pískovec (Šrámek et al., 1991), významnou složku zde však tvoří křemité či kalcitové kostry mořských hub – spongií, podle kterých je celá skupina hornin někdy označována jako spongility. Často jsou tyto horniny v hydrogeologických pracích označovány jako rohovce, vápnité pískovce nebo slínovce. Během jejich diagenese docházelo k výměně křemene, který původně tvořil kostry mořských hub, za kalcit (Chlupáč et al., 2011). Migrovaný křemen pak vytvářel konkrece tmavých silicitů – pazourky. Migrovat mohl také kalcit, který tvořil vápnité konkrece. Původní sediment tím mohl ztrácet velkou část své vápnité složky (Šrámek, 2005). Se spongility se můžeme setkat v západních, středních i východních Čechách (Šrámek et al., 1991). Nejvíce charakteristické jsou pro období spodního turonu, především pro bělohorské souvrství (Čech et al., 1980). V menší míře jsou zastoupeny i v jizerském souvrství (Valečka a Skoček, 1991).

Z fyzikálních vlastností spongilitů Šrámek et al. (1991) popisují průměrnou hustotu skeletu 2.70 g.cm^{-3} , průměrnou zdánlivou objemovou hmotnost 2.02 g.cm^{-3} a průměrnou porozitu 25,5 %. Porozita často klesá s vyšším obsahem raně mikritového vápence a s tím klesá i odolnost hornin atmosférickým vlivům. Póry o velikosti menší, než $0,1 \text{ }\mu\text{m}$ zaujímají často až 98 % celkového objemu pórů. Zvětrávání rozpouštěním vápnité složky však porozitu zvyšuje.

2.3.3 Slínovcová facie

Jako slínovce lze označovat horniny z řady jílovec – vápenec – prachovec, konkrétně horniny, které se mohou také značit: (prachovito-) vápnitý jíl, (prachovito-) jílovitý vápenec

(Konta, 1973). Pojem slínovec je tedy poměrně široký, proto existují tendence jej nahradit přesnějšími a jednoznačným názvoslovím. Přesto je nadále používán i ve vědeckých publikacích, protože je už natolik vžitý (Krutský, 1982). Vynesení oblasti slínovců v Kontovo klasifikaci je vidět na Obr. 2.5.



Obr. 2.5 Klasifikace a názvy v sedimentární řadě: prachovec – jílovec – vápenec (Konta, 1973)

Karbonátovou složku slínovců tvoří podle Krutského (1982) téměř výhradně kalcit v množství 30 – 70 %. Akcesoricky je dále přítomen dolomit a někdy i siderit. Ve slínovcích s vyšším obsahem vápnité složky pozoruje nárůst podílu vápnitých schránek. Z menších zrn jmenuje izometrická prachová zrna i překrystalované agregáty, oboje s velikostí asi 0,02 mm. Nejjemnější částice tvoří jemný vápnitý kal organického původu a také jílové minerály, především kaolinit a illit. Jílová hmota s železitým zbarvením často obaluje prachová zrna kalcitu a úlomky schránek.

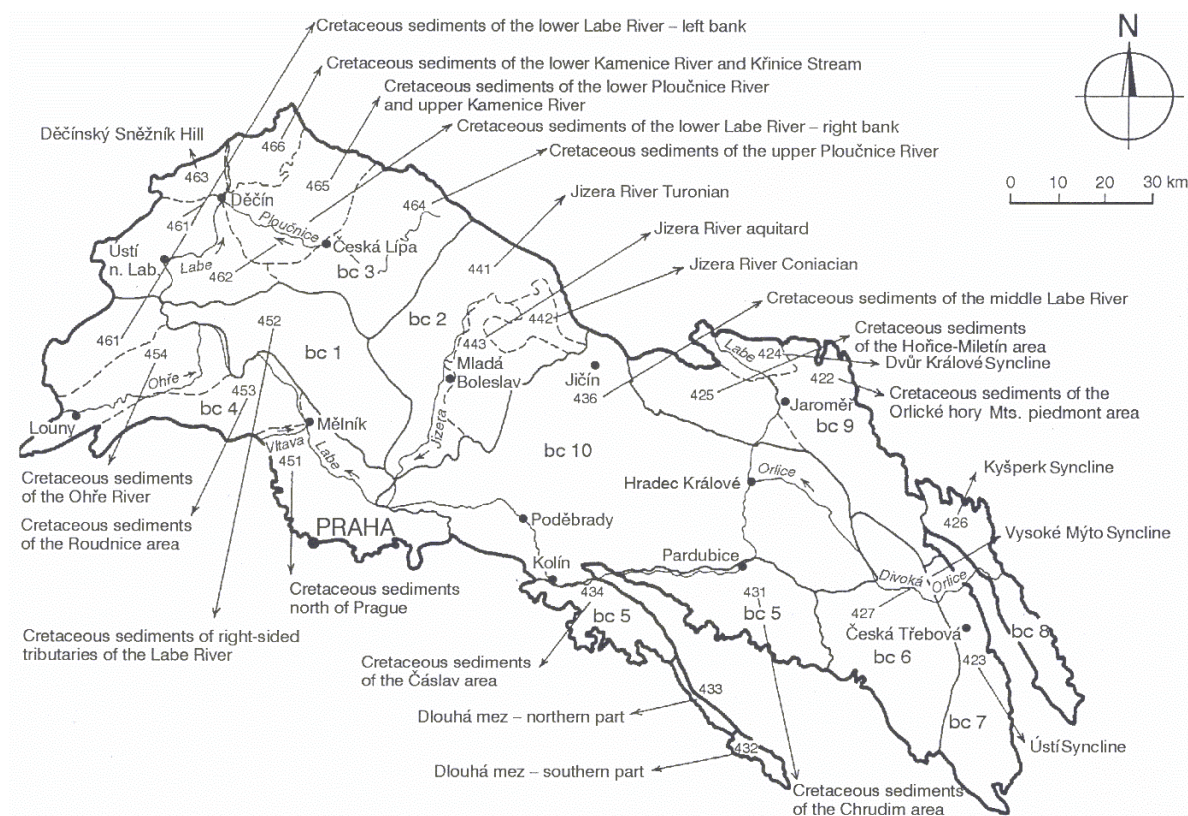
Sedimenty řady jílovec - vápenec převládají v ČKP v pruhu směřujícím z oblasti ohárecko – středohorské přes oblast pražskou a kolínskou do východočeské oblasti labské a orlickožďarecké (Krutský, 1982). Z oblastí s vývojem výhradně slinitých je největší oblast labská, kde slínovcový vývoj zabírá až několik stovek metrů (Herčík et al., 2003). Nejprozkoumanější slínovcovou oblastí je ohárecká, která je typická horninami se zastoupením karbonátů přes 70 % (Krutský, 1982).

2.3.4 Vápence

Vysokoprocentní vápenec se v ČKP vyskytuje jen vzácně a často je nebo spíše byl aktivně těžen (Procházka et al., 2011). Z vápencových lomů zmiňuje např. Úpohlahy, Miskovice, Mezholezy či Plaňany, všechny západně od Kutné Hory a v okolí Kolína (část z nich spadá pod Miskovický kras). Vzorky z těchto lomů obsahují 80 – 95 % karbonátu. Miskovickému krasu se ve své práci věnovali např. Schwartz a Lochmann (1966) nebo Bruthans et al. (2003)

2.4 Hydrogeologie ČKP

ČKP je nejvýznamnější zdroj podzemních vod v České Republice. To je dáno jak jejími značnými přírodními zdroji i statickými zásobami podzemních vod, tak vysokými hodnotami transmisivity, které dosahují stovek m^2/d až dokonce přes tisíc m^2/d . Takové podmínky poskytují zdroje k čerpání s regionálním významem (Krásný et al., 2012). Největší zdroje vody přisuzují Herčík et al. (2003) střednímu křídovému kolektoru (C), který produkuje 16,1 z celkových 31 m^3/s dynamických zásob vody. Bazální kolektor (A) produkuje 6,2 m^3/s , kolektory B a D produkují každý zhruba 4,4 m^3/s dynamických zásob vody. Využití těchto zásob dosahovalo k roku 2003 pouze asi 22 %. Dále Herčík et al (2003) uvádí, že 81 % těchto zásob je využitelných jako pitná voda s nízkými nároky na úpravy a pouze 4 % jsou k takovému účelu nevhodné. Snadná použitelnost vod jako zdroj pitné vody, mnohdy bez nutných úprav, je podle Hyního (1961) dána tím, že jsou uloženy v písčivých, pocházejících ze sudetských plutonů, stejnorodé a převážně křemenité.



Obr. 2.6 Rozdělení ČKP do bilančních celků podle Herčíka et al., (2003).

Dynamické zásoby podzemních vod jsou omezovány přírodními zdroji vody, které obvykle dosahují 5 l/s/km^2 (základní podzemní odtok). Parametry pánve jsou pak především definovány litologií a tektonickými podmínkami. Struktury, které parametry pánve výrazně mění (erozní okraje, nepropustné zlomy, vyznívání vrstev, regionální rozvodí) využívají Herčík et al. (2003) k rozčlenění pánve do několika bilančních celků (bc), pomocí kterých popisují regionální vlastnosti pánve jako zásoby vody, transmisivita a další.

Tektonické pohyby vytvořily ve vrstvách křídových sedimentů síť rozevřených puklin a trhlin, které spolu s diagenezními trhlínami tvoří základy zvodnění ČKP. Rozevření puklin je závislé na (ne)schopnosti hornin odolávat tektonickým pohybům pružnou nebo plastickou deformací. (Hynie, 1961).

Většina dobře přístupné podzemní vody je vázána na vrstvy pískovců a značně rozpukaných slínovců. V jejich vývoji jsou nejvýznamnější kolektory ČKP (Krásný et al., 2012). Mocnosti jednotlivých těles se často pohybují v řádu desítek metrů, v případě progradčních zón i stovek metrů. Kolektory bývají odděleny vrstvami jílovitých a slinitých izolátorů, které v centrální části pánve převládají a zaujímají stovky metrů mocnosti. Tělesa kolektorů jeden do druhého často přecházejí. Průlinová propustnost hraje významnější roli

pouze u pískovců s malým obsahem tmele, ve většině hornin je však mnohem významnější propustnost puklinová. Pelitické sedimenty se často chovají plasticky a proto jsou jejich pukliny sevřené a málo propustné. Naproti tomu hrubozrnné pískovce, uložené v mocných lavicích, neodolají deformacím a tříští se (Hynie, 1961).

Izolátory ČKP jsou tvořeny především jílovci a jílovými slínovci (Krásný et al., 2012). Tyto horniny jsou propustné jen v polohách postižených tektonickým rozpukáním. Slínovce jako hornina se chovají většinou plasticky. Jejich pevnější vrstvy, které se mohou s vrstvami plastickými prokládat, však mohou udržet pukliny poměrně otevřené a propustné. Hynie (1961) zmiňuje případy, kdy uvnitř slínovcového souvrství byly navrtána místa s trvalou vydatností až 1 sekundový litr. Naopak mnohé otevřené pukliny i v pískovcových vrstvách jsou znovu zatmeleny jílovitou drtí, čímž se propustnost naopak snižuje.

Bazální kolektor (A)

Je vázaný na perucko-korycanské souvrství (Krásný et al., 2012), někde však zahrnuje i bělohorské. Je rozšířený po celé bázi ČKP, v plošně omezených oblastech chybí v závislosti na morfologii předkřídového terénu (např. na Holicko-Novoměské elevaci). V některých úsecích ČKP je rozdělený strukturními zlomy či antiklinálami. Litologicky je souvrství velmi variabilní, kolektor tvoří podle Herčíka et al (2003) převládající psamitické vrstvy. Kolektor je většinou napjatý, ale jeho vody mívají špatnou kvalitu. Směrem do spodního turonu přechází cenoman obvykle do izolátoru, tvořeného prachovci a jílovci.

Spodní kolektor (B)

Je vázaný na bělohorské souvrství (Krásný et al., 2012), vymezuje se však pouze tam, kde je oddělen izolátorem zdola i shora. Není příliš rozšířen, bělohorské souvrství má na většině plochy ČKP charakter izolátoru, výraznou výjimkou je vysokomýtská, ústecká a kyšperská synklinála. V lužické faciální oblasti při lužickém zlomu bývá spojen s kolektorem C. Detailně je charakterizován níže v textu při popisu jednotlivých studovaných oblastí.

Střední kolektor (C)

Je vázaný na jizerské souvrství (Krásný et al., 2012) a také je nazýván hlavní křídový kolektor. Všeobecná má největší mocnost a vysokou až velmi vysokou transmisivitu. Detailně je charakterizován níže v textu popisu jednotlivých studovaných oblastí.

Svrchní kolektor (D)

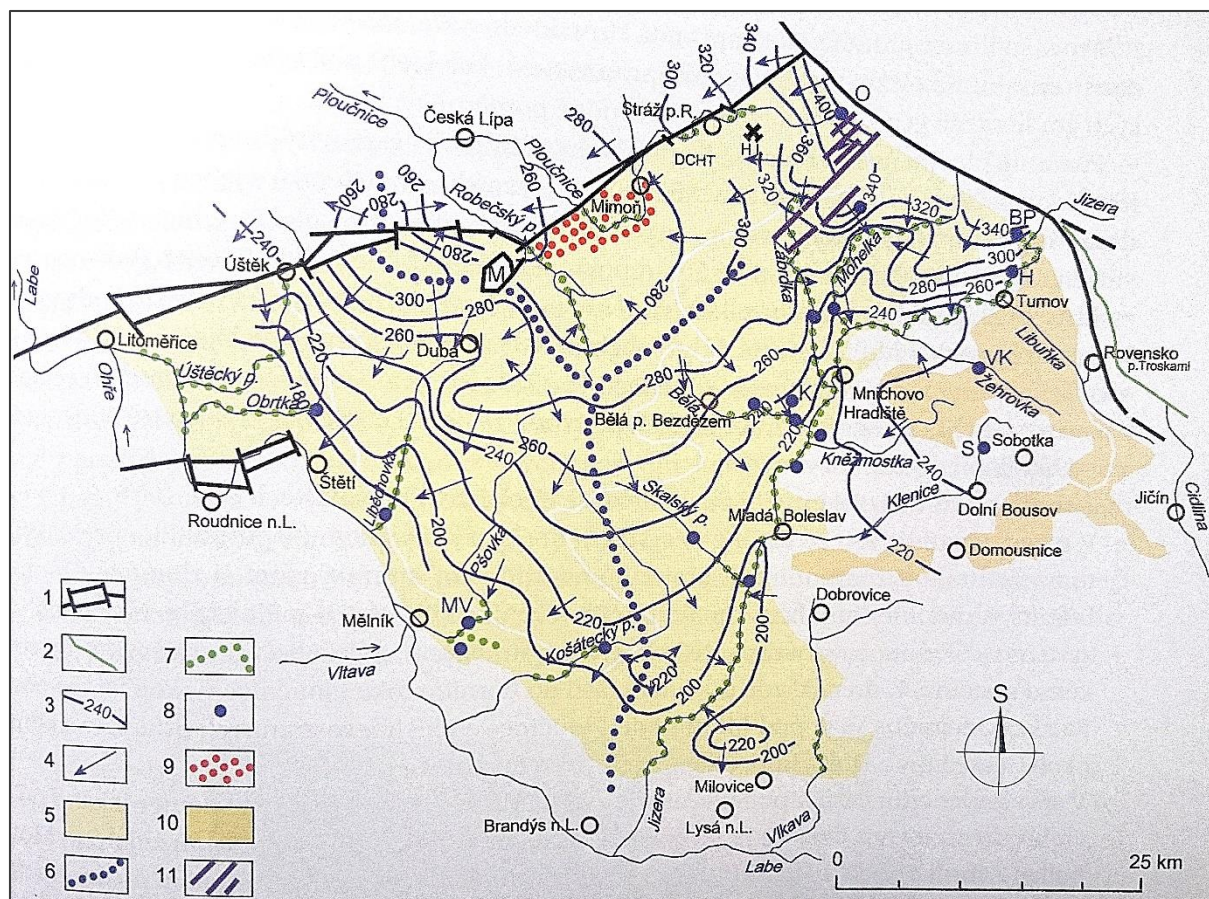
Je vázaný na teplické, březenské a merboltické souvrství (Krásný et al., 2012) tam, kde jsou vyvinuty. Tvoří jej nesouvisející tělesa při povrchu pánve, jako jsou skalní města na Turnovsku či v polické pánvi, nebo flyšoidní facie březenského souvrství.

2.5 Hydrogeologie zájmových oblastí

Práce se zaměřuje na výskyt přechodní facie podle Hyního (Obr. 2.4) v oblastech pojizeří, podorlické křídly, ve vysokomýtské a ústecké synklinále a v polické pánvi.

2.5.1 Mělnicko a Mladoboleslavsko

Jedna z oblastí zájmu této práce se nachází mezi Mladou Boleslaví a Mělníkem (Obr. 3.4.) Z hlediska hydrogeologie řadí Herčík et al. (2003) oblast Mělnicka do bc 1 a oblast Mladoboleslavska do bc 2 (Obr. 2.6). Hranice mezi nimi je dána málo výrazným rozvodím Labe a Jizery. Oproti tomu Krásný et al. (2012) oba celky i s částí bc3 shrnují do „Boleslavsko – mělnického zvodnělého systému“. Nejvýznamnějším kolektorem je hlavní křídový kolektor (C), který drénuje pomocí puklin jizerského směru i další zlomy a tím svádí značné množství vody do drenážní oblasti (Hynie, 1961). Naopak kolektor B není v této oblasti vyvinutý (Obr. 2.8; 2.9). Pokud je vyvinutý, jsou použitelné i vody kolektoru D (např. v okolí pramene Žehrovky). Na celé ploše oblasti vystupuje kolektor C přímo na povrch (Obr. 2.7). Podle Herčíka et al. (2003) je kolektor C tvořen především křemennými (kvádrovými), jílovitými či vápnitými pískovci.

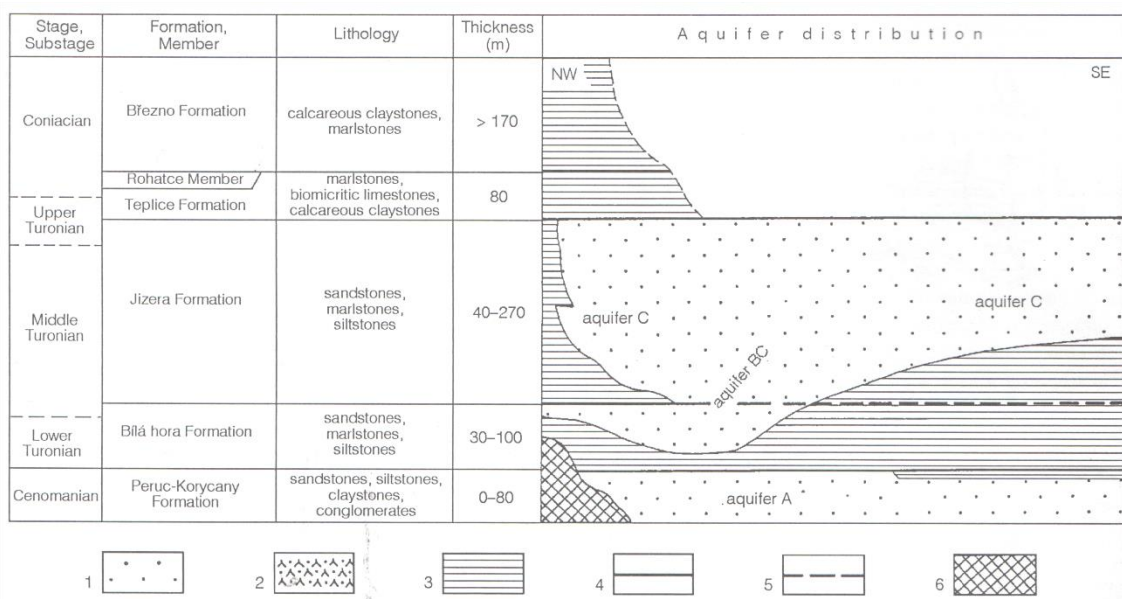


Obr. 2.7: Piezometrické poměry hlavní křídové zvodně boleslavsko-mělnického zvodnělého systému (Převzato z Krásný et al., 2012). 1) významné zlomy a zlomová pásma. 2) transgresně – erozní okraj ČKP. 3) hydroizopiezy hlavní křídové zvodně (m. n. m.). 4) převládající směry proudění podzemních vod hlavního kolektoru 5) prostor možné přímé infiltrace do hlavního křídového kolektoru. 6) hydrogeologické rozvodnice v hlavní zvodni, vymezující zvodnělé subsystémy. 7) významné zóny drenáže 8) významné prameny 9) zóna ovlivněná těžbou uranu ve Stráži pod Ralskem. 10) turnovský zvodnělý subsystém. 11) pásmo Čertových zdí.

Kolektor A získává vodu z Lužické poruchy či okolních celků a jeho vody proudí ve směru toku Jizery, kde se drenuje (Herčík et al., 2003). Jeho voda je však použitelná spíše výjimečně. Kolektor C (BC) získává většinu vody infiltrací ze srážek a tak jsou jeho vody většinou volné. Hladina podzemní vody mívá velmi nízký gradient. Směry proudění podzemní vody jsou vyneseny na Obr. 2.7.

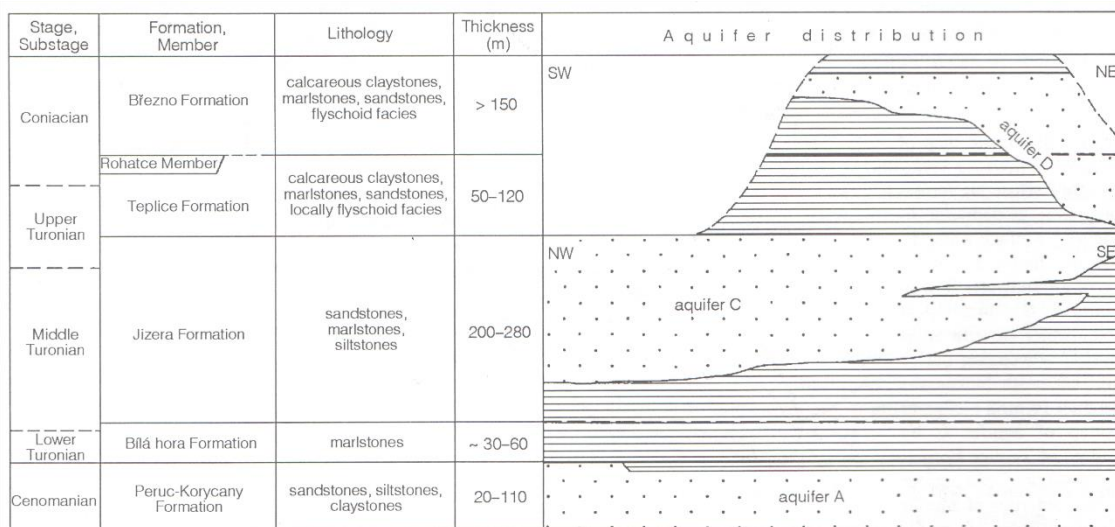
V poměrně malé oblasti dochází k soustředěným vývěrům několika pramenů, které získávají vodu z velké většiny zvodnělého systému. V Mělnické Vrutici vyvěral pramen o udávané vydatnosti 130 – 200 (Krásný et al., 2012). Další blízké prameny v údolí Košáteckého potoka měly souhrnnou vydatnost až 250 l/s. Další prameny s vydatností až 50 l/s se nachází

v údolí Liběchovky, Obrtky či Úštěckého potoka. Nejvýznamnější prameny jsou vyznačeny na Obr. 2.7.



Obr. 2.8: Zvodně a izolátory bc1. (Převzato z Herčík et al., 2003). 1) křemenný, jílovitý či vápnitý pískovec (kolektor). 2) pevné, silicifikované slínovce až spongility (kolektor). 3) vápnité jílovce, slínovce, jílovité vápence, občas prachovce (izolátor). 4) ostrá litologická hranice. 5) přechodová litologická hranice. 6) předkřídový podklad.

Blíže k Mladé Boleslavi se nachází velké prameny v okolí Bělé pod Bezdězem (Krásný et al., 2012), kde zásobují pravostranné přítoky Jizery. Skalský potok byl v minulosti dotován skrytými prameny a zvětšoval svůj průtok o 140 – 160 l/s na úseku dlouhém jen 4 km. V údolí Strenického potoka naopak dochází ke ztrátám průtoku.



Obr. 2.9: Zvodně a izolátory bc2. (Převzato z Herčík et al., 2003). Legenda viz. Obr. 2.8.

2.5.2 Turnovsko

Z hlediska hydrogeologie popisují Herčík et al. (2003) oblast Turnovska jako severovýchodní okraj bc 2. Krásný et al. (2012) jej řadí do „Boleslavsko – mělnického zvodnělého systému“, ovšem vydělují jako Turnovský subsystém (Obr. 2.7) a předpokládají zde obecně dobrou propustnost a příznivé podmínky infiltrace na území pískovcových skal. V případě Turnovského subsystému se jedná o kolektor D (Krásný et al., 2012). V oblastech jižněji od Sobotky až po Dobrovice vyznívá vyklínění kolektoru ve prospěch méně propustných jílovců.

Hlavní oblast zájmu leží z větší části přímo v severním okolí Turnova, kde se věnuje krasovým jevům vyvinutých v jizerském souvrství v jemnozrnných vápnitých pískovcích. Všechny vymezené body náleží k hlavnímu křídovému kolektoru (Obr. 3.4). Severně od Turnova je na mnoha místech hlavní kolektor pokryt vápnitými jílovcí, slínovci teplického souvrství, které tvoří asi 10 m mocný izolátor a v jeich nadloží pak kvádrovými pískovci kolektoru D (Herčík et al., 2003).

Ze zmíněných krasových jevů lze uvést vývěr Bartošova pec, jeskyně Šálení Smyslů, ponory a závrtý v Ondříkovicích, Podhorčí nebo v Roudném (Bruthans et al., 2001). V systému bylo provedeno několik stopovacích zkoušek, které ukazují velkou míru vzájemného propojení těchto jevů (např. Mikuš a Bruthans, 2011).

2.5.3 Podorlická křída a východočeské synklinály

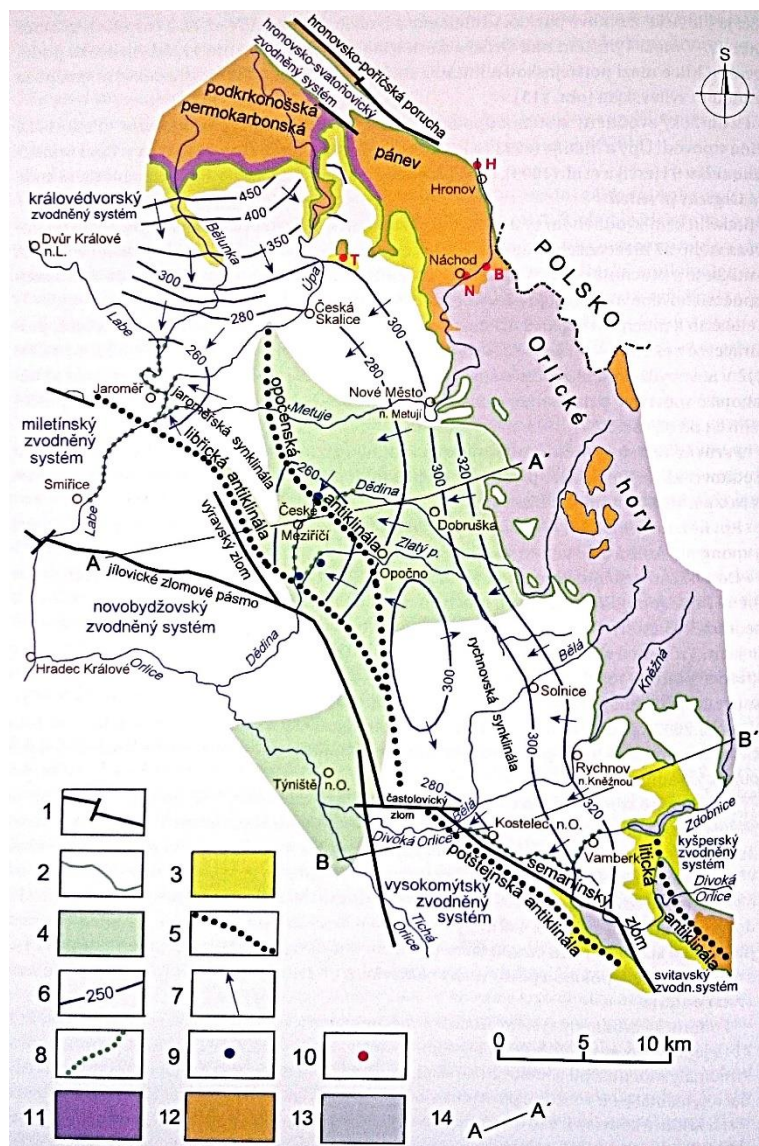
Z hlediska hydrogeologie řadí Herčík et al. (2003) oblast v práci popisovanou jako Podorlická křída do bc 9, Vysokomýtskou synklinálu do bc 6, a Ústeckou synklinálu do bc 7.

Charakter proudění těchto tří oblastí zkoumali Churáčková et al. (2010) a dospěli k závěru, že od míst infiltrace se k drenážních oblastech prouděním vody vytvořily silně propustné porozity se stářím podzemní vody v desítkách let, oddělující proudění většiny čerpané vody od okolní, většinou stagnující vody, se kterou se mísí jen omezeně. Tím se řádově snižuje stáří vody, která proto může být zasažena současnými kontaminanty. Příčinu vzniku této porozity vidí autoři v rozšiřování puklin, způsobeném rozpouštěním vápnitých pískovců a slínovců. S tím souvisí fakt, že směry proudění nejsou obvykle určeny směry lokální tektonických poruch, ale spíše regionálním hydraulickým gradientem.

Podorlická křída

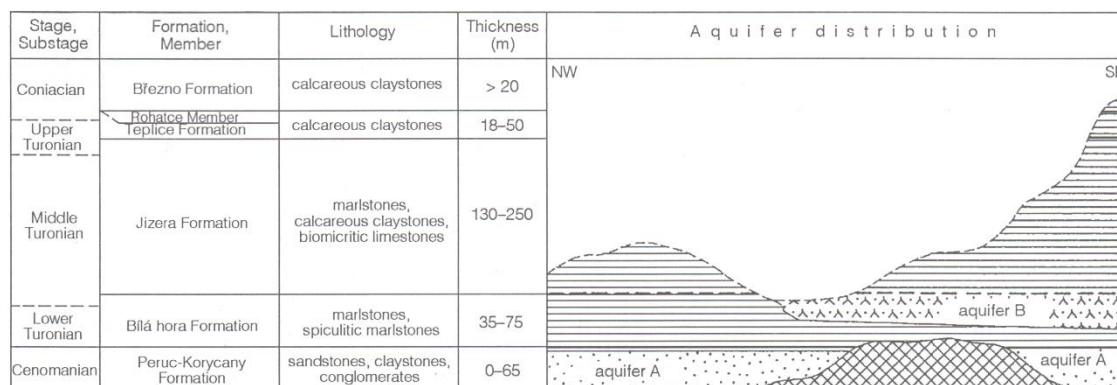
Krásný et al., (2012) Vyčleňují z bc9 (sensu Herčík et al., 2003) menší podorlický zvodnělý systém. Regionální proudění je popsáno na Obr. 2.10. Z regionu podorlické křídý se práce věnuje spodnímu kolektoru B v bělohorském souvrství, který je ve vyšších částech obvykle tvořen pevnějšími spongilitickými slínovci s prachovito - písčitou příměsí (Krásný et al., 2012). Jeho mocnost dosahuje až 75 m, v oblasti Holicko – Novoměstské elevace může klesat na méně než 40m. Transmisivitu kolektoru B hodnotí Herčík et al. (2003) jako vysokou až velmi vysokou. Mladší souvrství jsou slínovcového charakteru a tak tvoří izolátor (Krásný et al., 2012). Kolektor vychází na povrch v tektonicky postižených oblastech v okolí Opočenské flexury nebo Výravského zlomu a v těchto místech vznikají významné prameny. Protože voda z kolektoru A není pro vodárenské účely vhodná (Herčík et al., 2003), je kolektor B jediným využitelným zdrojem v oblasti.

Hlavní prameniště v Bc9 se nachází v jímacím území Litá, kde docházelo v minulosti k čerpání až 300 l/s (Krásný et al., 2012), ale i další prameny např. u Jaroměře, Rychnova nad Kněžnou či Opočně, které mají vydatnost desítek l/s. Využitelné množství podzemní vody odhadují Herčík et al. (2003) v bc 9 až na zhruba 1750 l/s.



Obr. 2.10: Schéma podorlického zvodnělého systému (Krásný et al., 2012).

- 1) významné zlomy a zlomová pásma
- 2) erozní okraj ČKP
- 3) výchozy bazálního křídového kolektoru
- 4) holice – novoměstská elevace
- 5) osy hlavních synklinál
- 6) hydroizopiezy zvodní
- 7) převládající směry proudění podzemních vod
- 8) hlavní zóny drenáže
- 9) významné prameny
- 10) výskyty kyselek
- 11) trias
- 12) permokarbon
- 13) předkarbonské jednotky



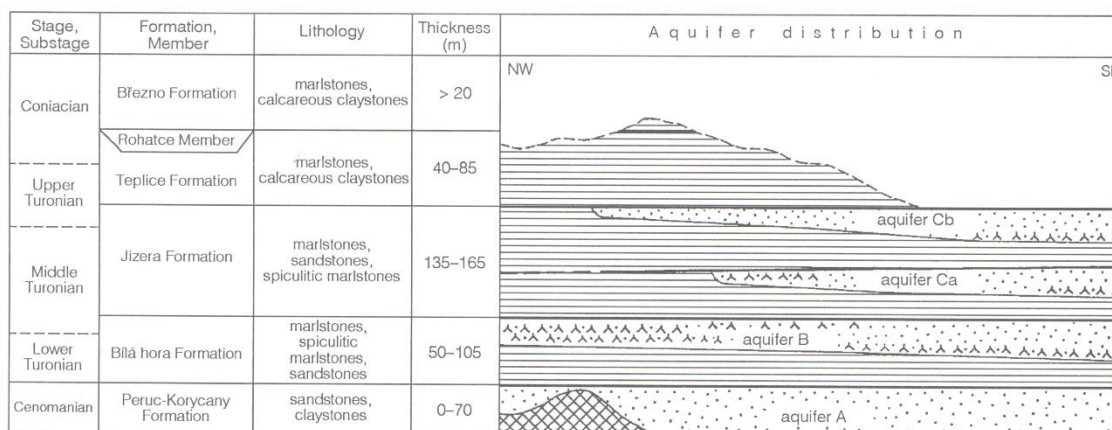
Obr. 2.11: Zvodně a izolátory bc9. (Převzato z Herčík et al., 2003). Popis viz. Obr. 2.8.

Vysokomýtská synklinála

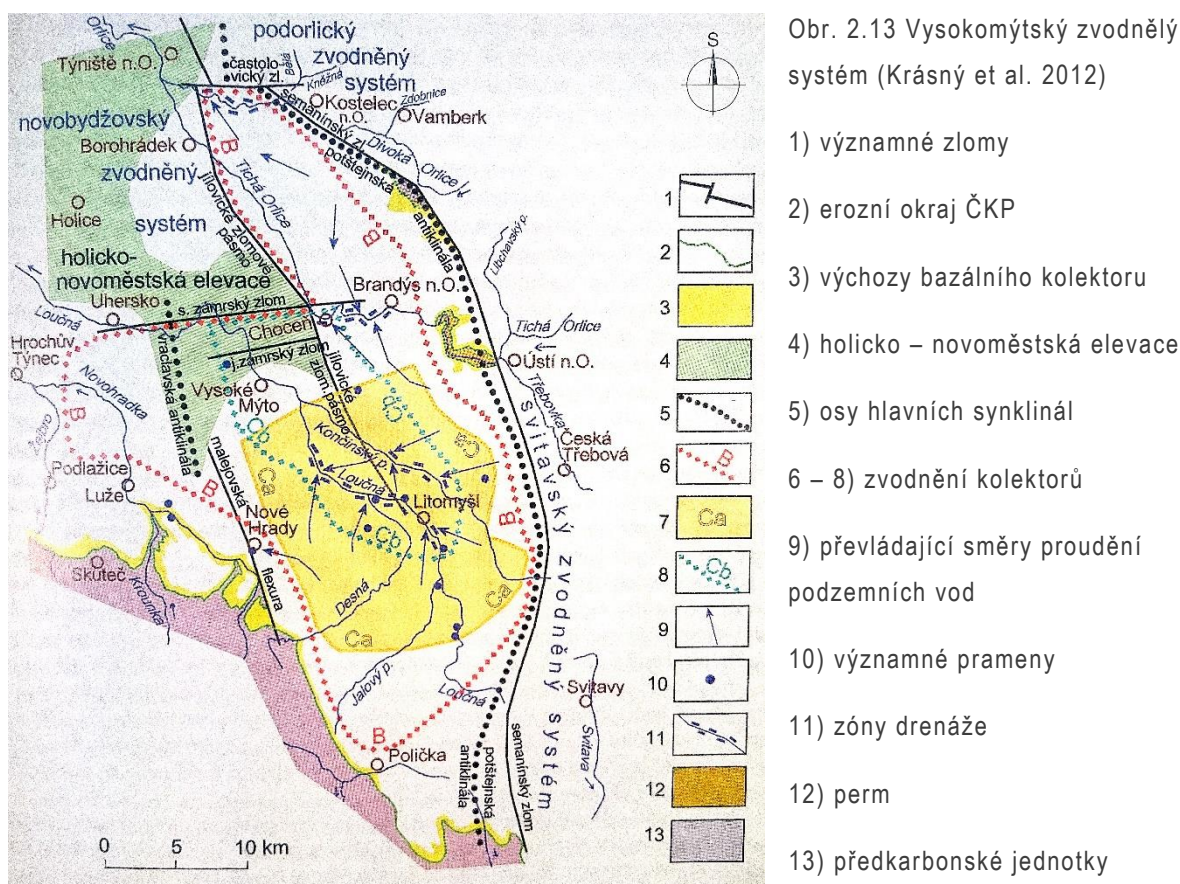
V případě vymezení regionu Vysokomýtské synklinály se Herčík et al. (2003) a Krásný et al. (2012) na hranicích shodují. Herčík et al. (2003) v oblasti definují 4 kolektory, které jsou 30 – 50 m mocné a prohnuté do tvaru synklinály. Bazální kolektor není vyvinutý na Holicko – novoměstské elevaci, která se nachází ve středu SZ části synklinály a končí zhruba u Vysokého Mýta. Řídící kolektor je kolektor bělohorského souvrství Krásný et al. (2012). Proudění vody není omezené pouze na kolektory, které jsou vzájemně propojené přes málo mocné izolátory. Tím je situace velmi komplikovaná. Směr proudění je obecně od míst infiltrace při okrajích synklinály do jejího středu, kde dochází k drenáži (Herčík et al., 2003).

Kolektory jsou většinou tvořeny vápnitými pískovci a spongilitickými slínovci, které jsou puklinově propustné se značnou variabilitou transmisivity (Herčík et al., 2003)

Práce se věnuje jen malé oblasti v okolí Chocně, kde vychází na povrch kolektor jizerského souvrství Cb a dále několika vrtům, které v různých souvrstvích zastihly významnější přítoky z kolektorů B a C.

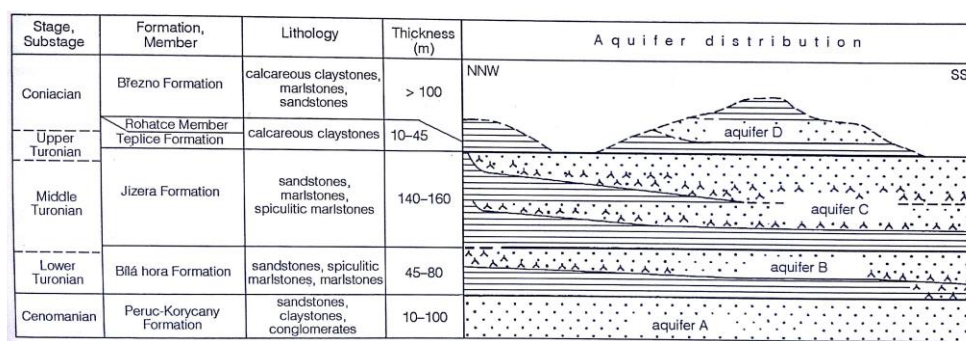


Obr. 2.12: Zvodně a izolátory bc6. (Převzato z Herčík et al., 2003). Popis viz. Obr. 2.8.



Ústecká synklinála

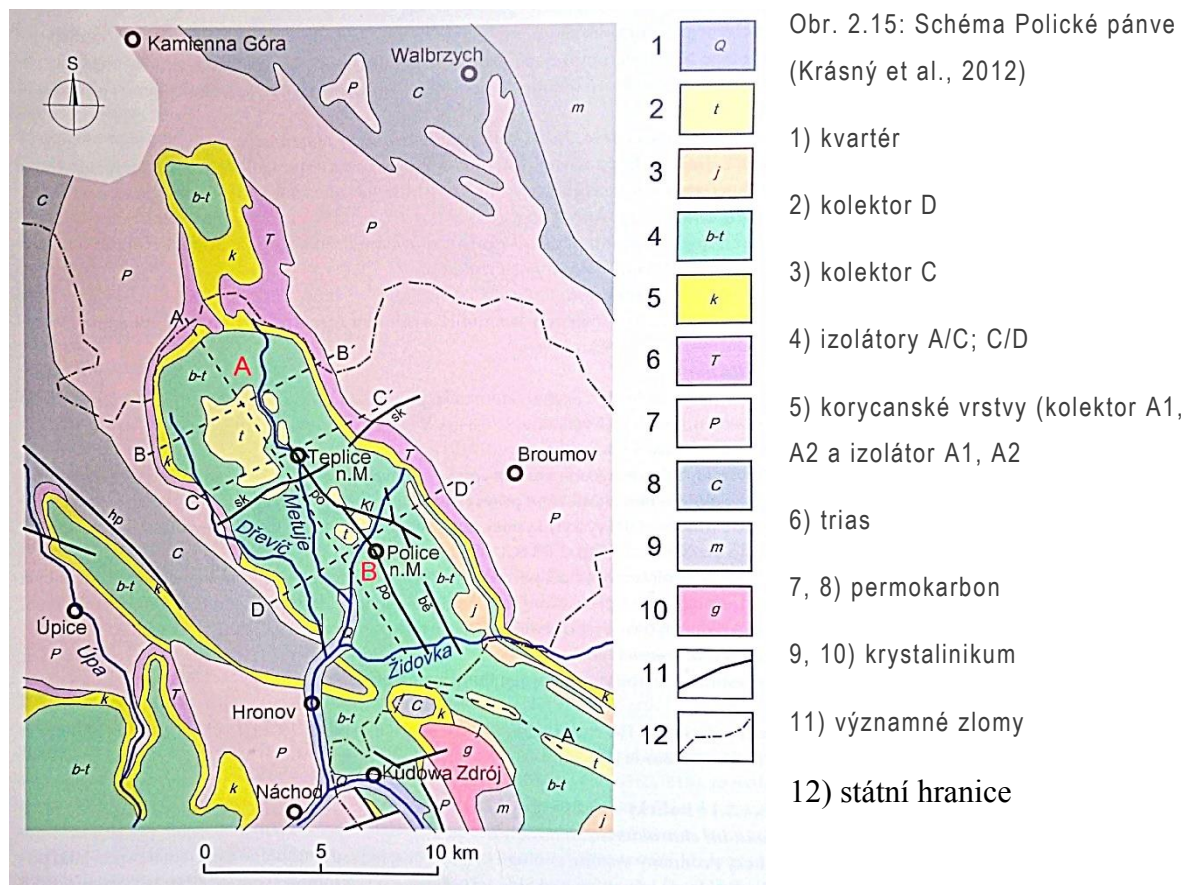
I v případě vymezení regionu Ústecké synklinály se Herčík et al. (2003) a Krásný et al. (2012) na hranicích shodují. Herčík et al. (2003) v oblasti definují 4 samostatné kolektory, tvořené většinou vápnitými pískovci a pevnými slínovci s puklinovou propustností (Krásný et al., 2012). Transmisivita kolektorů se pohybuje od velmi nízké až po velmi vysokou. Práce se věnuje pouze malému úseku v severní části synklinály, u České Třebové, kde vystupuje kolektor jizerského souvrství Cb.



Obr. 2.14: Zvodně a izolátory bc7. (Převzato z Herčík et al., 2003). Popis viz. Obr. 2.8.

2.5.4. Polická pánev

Polická pánev (synklinála) je křídového stáří (Krásný et al., 2012), ovšem od ČKP je v okolí Náchoda prakticky oddělena a proto se jí Herčík et al. (2003) ve své syntéze nevěnují.



Ve většině kolektorů Polické pánve převládá puklinová propustnost, především v okolí hlavních zlomů (Krásný et al., 2012). Nejvýznamnější kolektor celé pánve je „rohovcové souvrství“ A2 korycanského souvrství s maximální mocností 15 m a dále „psamitické souvrství“ A1 s podložním triasem (max. 180 m). Oba kolektory mají napjatou hladinu.

3 Metodika a data

3.1 Definice parametrů a použité přístroje

Pro srozumitelnost dalšího textu zde zavádím označení jednotlivých měřených parametrů, které bude dále v textu používáno

Tab. 1: seznam používaných parametrů

symbol	význam	rozměr
v	výška střední části jádra	mm
d	průměr jádra	mm
m _{1n}	hmotnost suchého vzorku před loužením	g
m _{1s}	hmotnost nasyceného vzorku před loužením	g
m _{2n}	hmotnost suchého vzorku po loužení	g
m _{2s}	hmotnost nasyceného vzorku po loužení	g
ρ	zdánlivá objemová hmotnost	(g/cm ³)
V	zdánlivý objem vzorku	cm ³
n1	přibližná pórovitost před loužením	% (obj)
n2	přibližná pórovitost po loužení	% (obj)
Δn	rozdíl pórovitosti n1 a n2	% (obj)
RS	podíl rozpustných látek	% (hm)
Y	podíl opadaných nerozpustných částic	% (hm)
ÚR	Úroveň rozpadu po loužení	1 - 5

K vážení jsem použil použita kapesní váhu Palmscale 7.0 s rozsahem do 200 gramů a udávanou citlivostí 0,01 gramu.

Ke zpracování dat jsem používal následující software: MS Excel, Past, ArcGis.

3.2 Metodika odběru vzorků

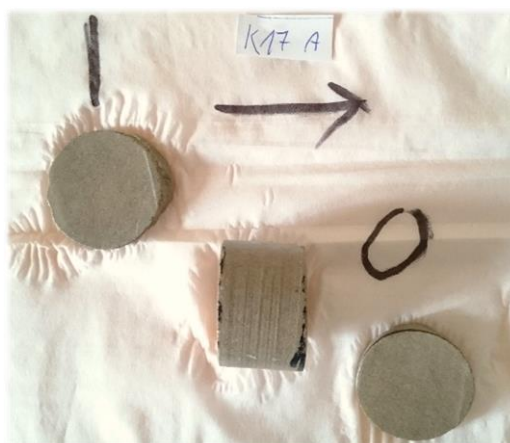
Vzorky jsem odebíral se školítelem na vytipovaných lokalitách pomocí akumulátorové vrtačky DeWalt s jádrovým vrtákem s diamantovým břitem s vnějším průměrem jádrovnice 35 mm a výškou jádrovnice asi 40 mm. Kde to bylo potřeba, používal jsem vodní výplach pomocí ruční stříčky ke chlazení vrtné korunky a k vynášení vrtné drti. Vzorky, které nebylo možné odvrtat (nesoudržný materiál, nedostupné výchozy) jsem odebral pouze pomocí geologického kladiva. Získané vzorky jsem zabalil do PET folie a v případě potřeby ještě uložil do pevného obalu, aby se zabránilo jejich poškození. Všechny vzorky jsem již na lokalitě zaevidoval a později orientačně změřil a zvážil.

3.3 Metodika zpracování vzorků

Zpracování jader hornin probíhalo následovně:

I): V případě, že měly vzorky dostatečnou soudržnost a příhodný válcovitý tvar daný jádrovým vrtáním, rozdělil jsem jádro na tři diskovité části zobrazená na příkladu na obr. 3.1.

- 1) Vnitřní část jádra o hmotnosti kolem 10 gramů.
- 2) Střední část jádra nemá určenou konkrétní výšku ani hmotnost, pouze přibližně válcovitý tvar. S rostoucí hmotností však roste přesnost měření obsahu karbonátu a proto jsem nepoužíval vzorky o počáteční hmotnosti menší, než 10 gramů. Průměrná hmotnost střední část jader byla 30 gramů.
- 3) Vnější část, přibližně centimetr mocná, jsem dále nepoužíval, protože lze očekávat, že zde hornina může být navětralá a odvápněná.



Obr. 3.1: Dělení jádra na tři části. I: vnitřní disk; Šipka: orientovaný střední disk; O: vnější disk.

Dělení vzorku prováděla paní Škorpíková v brusírně Přírodovědecké fakulty na kotoučové pile s vodním chlazením. Po rozdělení jsem vzorky kartáčkem omyl od jemných prachových částic vzniklých při vrtání a řezání a ponechal k oschnutí na vzduchu. K odlišení vzorků a jejich jednotlivých částí jsem všechny části značil lihovým fixem.

II): V případě zpracovávání nepravidelných úlomků jsem vzorky pouze zmenšil na vhodnou velikost a hmotnost potřebnou pro další analýzy. Tento postup jsem volil i pro jádra příliš malá pro postup I.

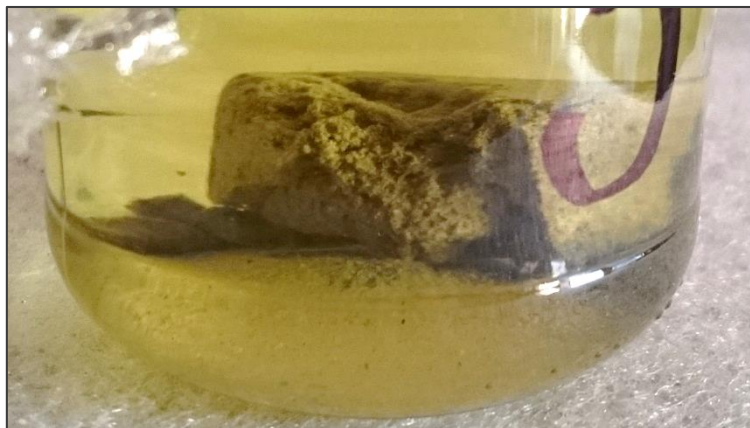
3.3.1 Loužení v kyselině chlorovodíkové

HCl je klasický a stále používaný nástroj ke snadnému zjištění obsahu karbonátů v horninách i zeminách a oddělení nerozpustné složky jako silná kyselina, která působí rychle a tvoří rozpustné produkty reakce (Ray et al., 1957). Z toho důvodu jsem ji používal i v této práci. Její výhodou je, že nereaguje se základními horninotvornými minerály, jako je křemen, živce, slídy a další. Konta (1967) doporučuje při přesných stanoveních kalcitu používat raději kyselinu monochloroctovou, která je slabší než HCl a nerozpouští např. ani dolomit. Používá jí však pouze na rozdrcené vzorky, na kterých ji nechal působit 10 až 14 dní (Konta, 1967). Kyselina octová, kterou k loužení doporučuje Slavík (2012) podle Konty (1967) snadno vytváří špatně rozpustné komplexy, které ve výsledku navyšují hmotnost nerozpustné složky. Pro zvolený způsob loužení se tedy obě jeví jako nevhodné.

K vlastnímu měření jsem použil střední část vzorku, získanou postupem I. Je možné používat i vhodně upravené vzorky, získané postupem II, ovšem pouze bez měření porozity. Před samotným loužením jsem vzorek nechal za laboratorní teploty vyschnout na laboratorní vlhkost a po několika dnech jej zvážil, změřil a nafotil.

K získání všech potřebných parametrů je zapotřebí kromě zjištění hmotnosti vysušeného jádra (m_{in}) ještě změřeni hmotnosti v saturovaném stavu (m_{is}). Za tímto účelem byly vzorky namočený po několik dní ve vodní lázni. Poté jsem pomocí metody trojího vážení zjistil hmotnost v saturovaném stavu, objem a zdánlivou hustotu.

K loužení jsem používal HCl o 10% koncentraci. Reakce probíhala v pečlivě vymytých skleněných nádobách o objemu 325 ml. Vzorek jsem zalil přibližně 100 ml HCl. Příklad této sestavy je zobrazen na obr. 3.2. Pokud se neobjevilo příznačné šumění vzorku, použil jsem i menší množství kyseliny. Pokud šuměl intenzivně, množství kyseliny jsem navýšil. Pokud po týdně reakce ustala, zkontroloval jsem reaktivnost roztoku HCl mimo nádobu na vzorku vápnitého prachu. Pokud roztok nebyl reaktivní, vyměnil jsem jej za nový. Pokud vzorky reagovaly, ale udržely si svůj tvar, bylo zapotřebí je loužit až 30 dní. Snažil jsem se zabránit zbytečným nárazům, otřesům jádra a víření vody v nádobě. Většinu rozkladné síly tak způsobovaly pouze bublinky plynu unikajícího z vnitřku louženého vzorku.



Obr. 3.2: Nádoba s louženým vzorkem.

Loužení jsem mohl ukončit ve chvíli, kdy ze zreagovaného vzorku již nevycházejí pramínky CO_2 ani za přítomnosti kyselého roztoku. Dostatečnou kyselost roztoku lze zběžně poznat tak, že po loužení získá tmavě žluté zbarvení (viz. Obr. 3.2), pro jistotu také reakcí s vápnným prachem. Roztok kyseliny jsem alespoň dvakrát slil a nádobu doplnil destilovanou vodou tak, aby neunikly jemné částice z nádoby. Mezi jednotlivými výměnami roztoku je potřeba udělat časový rozestup několik hodin, aby se usadil kal ve vznosu a aby mohla zbylá kyselina difuzně přejít z pórů vzorku do roztoku. Potom lze začít s extrakcí nerozpustného zbytku.

Pokud ze vzorku zbyla větší pevná, nerozpustná část, oddělil jsem ji a připravil k vážení. Zbytek vzorku ve formě nesoudržného sedimentu jsem z nádoby vymyl destilovanou vodou a ponechal k odpaření. Většinu vody jsem po usazení sedimentu ještě odebíral za účelem uspíšení odpaření. Ze získaných hmotností jsem získal poměr hmotnosti „opadu“ vůči soudržným, nerozpustným částem podle rovnice:

$$Y = \frac{m_o}{m_{2n}}$$

Po loužení je potřeba znovu změřit hmotnosti vzorku v saturovaném a suchém stavu. U vzorků, které si zachovaly přibližně původní tvar, jsem mohl použít trojí vážení. V případě, že došlo k rozpadu vzorku a pevná část není přítomna, nebo ji tvoří jen četné úlomky, nelze získat jiný údaj, než hmotnost v suchém stavu.

3.3.2 Hodnocení reakce horniny na kyselé prostředí

K popisu reakce vzorků hornin na loužení v HCl jsem vytvořil klasifikaci do pěti úrovní rozpadu (ÚR), které přibližují změnu vlastností, která se udála. Jádra nepocházela vždy

ze zdravých hornin a tak mohly vzorky původní horniny být rozpadavé už v původním stavu. V popisu se jedná vždy o porovnání stavu před a po loužení a vzájemnou změnu vlastností, nikoliv pouze o popis stavu vzorku po loužení. K rozdělování do jednotlivých úrovní jsem používal tři zkoušky: vryp ocelovým hrotem, drolivost povrchu vzorku při manipulaci a interval pro podíl opadu (Y). Interval pro (Y) je základní parametr klasifikace, protože není oproti zbylým dvěma zkouškám subjektivní. Rozdělování do jednotlivých úrovní je popsáno níže.

ÚR 1, (nezvětralá): První úroveň značí, že v pevnosti vzorku k žádné zaznamatelné změně nedošlo. Neznamená však, že neprobíhala žádná reakce. Všechny vzorky mohou ztratit několik procent hmotnosti i bez toho, aby se zmenšila jejich původní pevnost. Ze vzorku neopadalo žádné reziduum, pokud nebyl na povrchu drolivý už v původním stavu. Na hloubce vrypu není znatelný rozdíl.

ÚR 2, (snížená pevnost): Druhá úroveň zahrnuje všechny vzorky, které se působením HCl změkčí tak, že hloubka vrypu ocelovým hrotem výrazně vzroste. Většina zkoumaných hornin, třeba i slabě navětralých, je v původním stavu takovému vrypu odolná. Od okrajů válečku může opadávat nerozpustné reziduum, avšak pouze minimálně.

ÚR 3, (slabý rozpad): Třetí úroveň označuje ty vzorky, které nejenže ztratily původní pevnost, ale za sucha jsou při doteku drolivé. Spodní hranici této úrovně tvoří 1 % opadu (Y) v loužící nádobě, horní hranici tvoří 10 % opadu.

ÚR 4, (střední rozpad): Do čtvrté úrovně byly zahrnuty vzorky, které tvoří zvláštní přechod mezi úplným rozpadem a změkčením vzorku. Nerozpustné zbytky ztrácí soudržnost a lámou se podle puklin. Často se jedná o nehomogenní horniny, z nichž se část rozpadne úplně a zbytek zůstává blízký původnímu tvaru. Nerozpustné zbytky mívají na většině povrchu značně odrovené původní obrysy, rýhy až prohlubně. Na omak jsou silně drolivé. Opadu (Y) je více než 10 %.

ÚR 5, (úplný rozpad): Pátá a poslední úroveň obsahuje vzorky hornin, které působení kyseliny úplně rozložilo, a tak v nádobě zbývá jen nesoudržný klastický materiál. Pokud se mezi opadem nachází ještě i soudržné částice nerozpadlé horniny, jsou mnohem menší, než byla původní velikost vzorku. Opad (Y) tvoří alespoň 50 % hmotnosti nerozpustného rezidua.

3.3.3 Odhad obsahu karbonátů vážením

Podíl rozpustné složky (RS) nabývá hodnot v rozmezí 0 – 100 %. Ke zjištění množství RS jsem používal hmotnosti vzorků v suchém stavu (sušených za laboratorní teploty). V případě m_{2n} jsem ke hmotnosti vysušené pevné části ještě přičítal hmotnost vysušeného opadu.

K výpočtu jsem používal rovnici:

$$RS = \frac{m_{1n} - m_{2n}}{m_{1n}} * 100 [\%]$$

3.3.4 Stanovení obsahu karbonátů pomocí kalcimetrie

K tomuto přesnému měření obsahu karbonátů byla používána spodní část vzorku, získaná postupem I a také vzorky získané postupem II. Pro potřeby laboratoře jsem vzorek předem nadrtil a namlel na analytickou jemnost v dílně Geologického ústavu AV ČR s pomocí Michala Filippiho. K drcení na drobné úlomky jsem používal ocelový hmoždír a k namletí horniny na analytickou jemnost planetový mlýnek využívající achátové misky.

Tento způsob měření byl použit z důvodu zjištění přesného obsahu jednotlivých karbonátů v horninách, které jsem také loužil. Měření provedla laboratoř Českého Geologického Ústavu. Tento certifikovaný postup stanovuje obsah karbonátů pomocí coulometrického měření množství vytvořeného CO_2 , který vzniká při reakci HCl se vzorkem horniny namletým na analytickou jemnost. Ke stanovení prvků Ca, Mg, Fe a Mn přítomných v roztoku používají FAAS (plamenová atomová absorpční spektrometrie) nebo titraci. Více viz. (www.geology.cz). Meze stanovení jsou uvedeny na Obr. 3.3.

304 – Vápnitost (akreditace)			2 g	viz tabulka	444 Kč
složka	mez st. [%]	pozn.			
Fe_2O_3	0,01	FAAS do 10 %; nad 10 % PMT			
MnO	0,001	FAAS			
MgO	0,01	FAAS do 5 %; nad 5 % titrace			
CaO	0,01	FAAS do 5 %; nad 5 % titrace			
CO_2	0,05	coulometrie			

Obr. 3.3: Nabídka laboratoří ČGS ke stanovení vápnitosti. (Převzato z ceníku laboratoře ze stránek ČGS, 2015)

3.3.5 Odhad porozity a dalších parametrů

Díky používání trojího vážení jsem mohl získat ještě další parametry hornin před i po loužení a následně je vzájemně porovnat. Konkrétně se jednalo o parametry: Hmotnost v saturovaném stavu; zdánlivá hustota; objem vzorku; přibližná porozita.

Při trojím vážení jsem používal vzorky v „pseudosaturovaném“ stavu. V hornině zůstávalo ještě i určité množství uzavřeného plynu v malých pórech a proto jsou všechny získané parametry míněny jako pouze velmi přibližné.

Trojí vážení spočívá ve změření hmotnosti nádoby s vodou (α_1), hmotnosti nádoby s vodou a plně ponořeným předmětem, ne však položeným na dno (α_2) a hmotnosti nádoby s vodou s položeným vzorkem (α_3). Protože jsem používal k uchopení vzorku pevný nástroj, musel jsem odečítat hmotnost jím vytlačené vody při měření $\alpha_2 - (\beta_1)$ a při měření $\alpha_3 - (\beta_2)$ a jeho vlastní hmotnost (β_3) při dalších výpočtech.

K výpočtu (m_{1s}) jsem používal rovnici:

$$m_{1s} = \alpha_3 - \alpha_1 - \beta_3$$

K výpočtu zdánlivé hustoty (ρ) jsem používal rovnici:

$$\rho = \frac{\alpha_3 - \alpha_1 - \beta_2}{\alpha_2 - \alpha_1 - \beta_1}$$

K výpočtu objemu (V) jsem používal rovnici:

$$V = \frac{m_{1a}}{\rho}$$

K výpočtu pórovitosti (n) jsem používal rovnici:

$$n = \frac{m_{1s} - m_{1n}}{V}$$

V případě výpočtů ekvivalentních parametrů „po loužení“ jsem využil stejné rovnice, pouze s veličinami s indexem „2“

Další sledovaný parametr je i zrnitost hornin. Vzorky jsem dělil na tři skupiny: Střednězrné, jemnozrné a aleuopelity. K rozdělení jsem přistupoval pouze odhadem na základě sledování povrchu vzorků a jejich opadu. Rozdělení může proto být poměrně subjektivní. Jako střednězrné horniny jsem označil ty, ve kterých převažují zrna o průměru větším, než 0,2 mm. Typickou střednězrnou horninu jsem vybral díky snímkům ze SEM, kde jsem velikost zrna mohl díky přiloženému měřítku odhadnout. K ní jsem přirovnával další vzorky. Jako jemnozrné jsem popsal ty vzorky, kde jsou ještě zrna okem viditelná. Velikost zrn by měla být větší než 0,05 mm. Tato hranice je ale bez přístrojů obtížně stanovitelná. Jako aleuopelity jsem popsal vzorky, u kterých nejsou zrna rozeznatelná.

Pomocí zvoleného postupu měření je možné zjistit nejen obsah látek rozpustných v kyselině chlorovodíkové (dále jen HCl) za pokojové teploty, ale také odhadnout objem vzorku, zdánlivou hustotu vzorku a jeho porozitu. Porozita vzorku je jeden z důležitých parametrů v hydrogeologii, určující propustnou hornin pro vodu. Naměřená porozita vzorků ve stavu před loužením dokáže přiblížit stav horniny, v jakém se v masivu nacházel. Protože byly ke zpracování vybrána jádra v různém stavu, lze na základě odhadu porozity zjistit, zda již byla hornina postižena chemickou erozí. Pokud byl měřen profil, je možné porovnávat intenzitu eroze ve vertikálním směru. Také lze posoudit příbuznost hornin, které byly odebrány na různých lokalitách.

Smyslem měření je možnost porovnání uvedených parametrů před a po loužení. Hlavní výhodou tohoto postupu je, že přes proces loužení zachová nerozpustnou složku vzorku v téměř původním stavu, zatímco běžné laboratorní analýzy vyžadují nadrcení materiálu. Některé vzorky se loužením rozpadnou úplně a zbyde pouze jejich nerozpustná klastická složka. U vzorků, které zůstanou soudržné, lze posuzovat jejich pevnost a porovnat ji s původním stavem horniny. V případě, že od soudržného vzorku opadá nerozpustná složka do formy nesoudržných zrn, lze ji posuzovat individuálně jako klastický „opad“.

3.4 SEM

Ke snímkování vzorků byl použit skenovací elektronový mikroskop (SEM) Quanta 450 na ÚSMH AV ČR, v. v. i. v režimu vysokého vakua, při napětí 20kV, pracovní vzdálenosti 10 mm a zvětšení 150x. Struktura horniny byla focena pomocí sekundárních elektronů (SE) a zpětně odražených elektronů (BSE), pomocí SDD (silicon drift detector), nástavce k PMD (photomultiplier detector) byl zobrazen chemismus hornin (Jana Schweigstillová, úst. sd.). Snímkování provedla Jana Schweigstillová.

Vzorky ve formě nábrusů byly předem pozlaceny, aby se předešlo nabíjení vzorku. Pozorované prvky byly: Al; Ca; Fe; K; Si.

K výzkumu pomocí SEM jsem vybral následující vzorky:

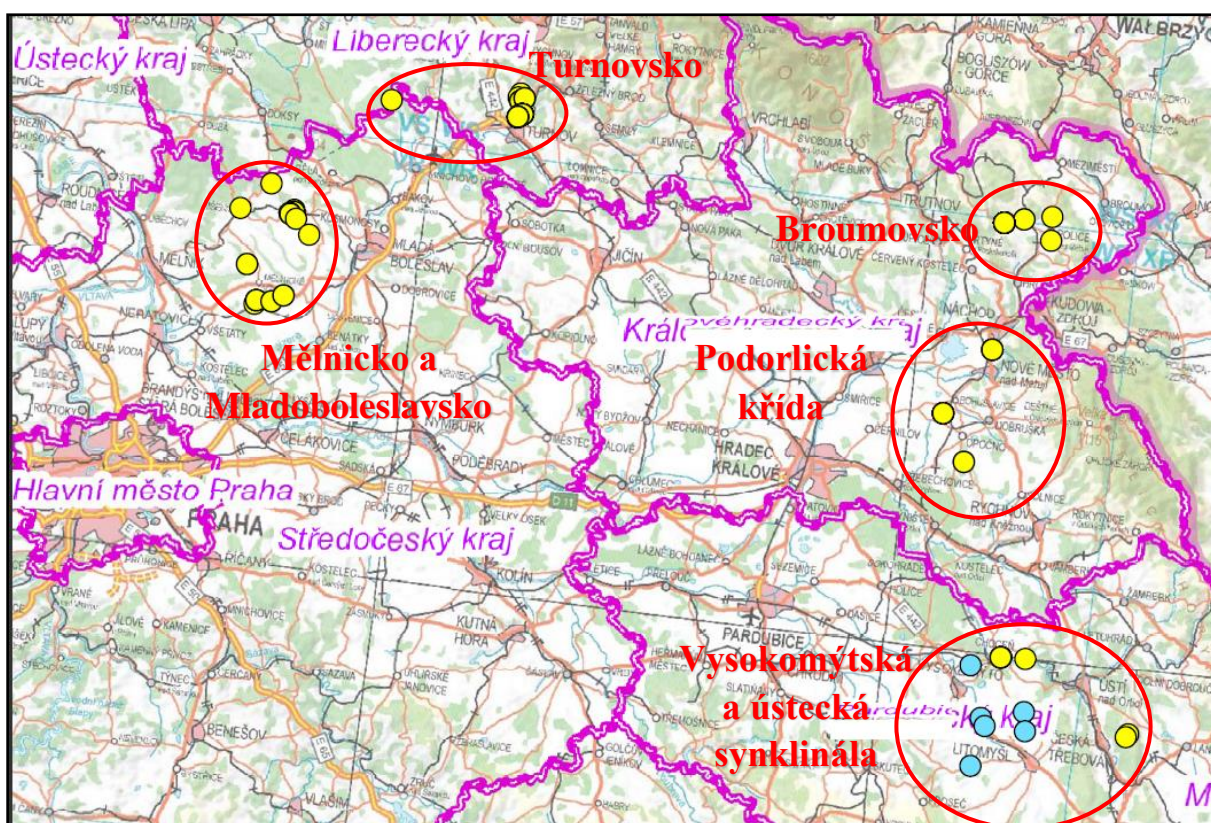
Tab. 2: Vybrané vzorky ke snímkování SEM

Vzorek	Hornina	Lokalita
K02B	vápnitý pískovec	Mělnicko
K04A	vápnitý pískovec	Mělnicko
K13B	vápnitý pískovec	Mladoboleslavsko
K18B	písčitý vápenec	Turnovsko
K21A	písčitý vápenec	Turnovsko
K24G	rohovec	Podorlická křída
K27A	prachový vápenec	Vysokomýtská s.
K29A	rohovcový vápenec	Vysokomýtská s.
K29B	rohovec	Vysokomýtská s.
K33A	vápenec	Broumovsko

3.5 Lokality

Pod pojmem lokalita se zde rozumí místo odběru vzorků a jeho blízké okolí. Značení lokalit bylo voleno tak, aby bylo možné jednoznačně určit původ každého vzorku. Číslování reprezentuje místo odběru (často polohu profilu), písmeno značí polohu vzorku v profilu a druhé číslování odlišuje duplicitní vzorky nebo odběry z více hloubek, čili takové vzorky, jež následují za sebou ve směru od povrchu do vnitřku výchozu v rámci postupného odběru několika jader z jednoho návtu. K takovým vzorkům je uvedena i hloubka odběru. Písmenné značení obvykle následuje v profilech odspodu vzhůru, pokud není uvedeno jinak. Všechny výchozy, ze kterých jsem získal jádra, jsou skalní výchozy in situ, pokud není v textu uvedeno jinak. Lokality byly zaměřeny v GPS (tab. 3) Detailnější popis lokalit je v příloze (Příloha 8.1).

Lokality, které jsme se školitelem vzorkovali pro tento projekt, mají předponu „K“. Lokality jsou v textu řazeny podle čísla odběru, pokud není určeno jinak.



Obr. 3.4: Mapa zobrazující všechny zpracované lokality: povrchové odběry (žluté body) a vrty (modré body).

Tab. 3: Seznam všech navštívených lokalit, obsahující označení lokality, GPS souřadnice a zařazení do skupin lokalit, vyznačených v Obr. 3.4. M: Mělnicko a mladoboleslavsko. T: Turnovsko. P: Podorlická křída. V: Vysokomýtská synklinála. U: Ústecká synklinála B: Broumovsko (Polická pánev).

ozn.	místo	zeměp. š.	zeměp. d.	Sk
K1	Střížovice	50,32315	14,69090	M
K2	Krpy	50,32803	14,69343	M
K3	Kropáčova Vrutice	50,329145	14,723565	M
K4	Sušno	50,338517	14,745267	M
K5	Zahájí, vrchní etáž	50,371617	14,665950	M
K6	Zahájí, spodní etáž	50,371617	14,665950	M
K7	Lom pod Mšenem	50,440500	14,638317	M
K8	Suchý mlýn	50,476374	14,692650	M
K9	Sudoměř, křižovatka	50,447167	14,744200	M
K10	Sudoměř, silnice	50,444517	14,744433	M
K11	Pytlíkovský Mlýn	50,600606	14,906817	T
K12	Sudoměř, přehrada	50,442500	14,735967	M
K13	Sudoměř, hráz	50,441517	14,737483	M
K14	Sudoměř, pramen	50,436367	14,749900	M
K15	Podkováň, velký pramen	50,418600	14,779850	M
K16	Podkováň, menší pramen	50,418600	14,779850	M
K17	Rohozec, C	50,598850	15,158467	T
K18	Rohozec, B	50,599783	15,159050	T
K19	Jeskyně Šálení Smyslů A	50,599783	15,159050	T
K20	Ondříkovice ponor	50,62376667	15,159950	T
K21	Poloslepé údolí Podhorčí	50,624117	15,167667	T
K22	Bartošova pec	50,629600	15,159333	T
K23	Pramínek u Bartošovy Pece	50,624383	15,155717	T
K24	Zbytka	50,620217	15,160167	P
K25	Přepychy, lom	50,235588	16,114820	P
K26	Vrchoviny, lom	50,380271	16,145432	P
K27	Choceň, V nad zářezem	49,995845	16,230126	V
K28	Choceň, Z nad zářezem	49,996504	16,230426	V
K29	Choceň, v zářezu	49,996252	16,230115	V
K30	Oucmanice, lom	49,997683	16,278251	V
K31	V dolech I	49,917438	16,494561	U
K32	Pramen Bukovka	49,913555	16,490323	U
K33	Pod Hlavňovem	50,555052	16,233941	B
K34	Radešov	50,525046	16,236867	B
K35	Česká Metuje	50,547960	16,179218	B
K36	Vápenka	50,543088	16,131243	B
K37	Jeskyně Šálení Smyslů B	50,624117	15,167667	T
K38	Jeskyně Šálení Smyslů C	50,624117	15,167667	T
K39	Vápeník, horní	50,603509	15,164728	T
K40	Vápeník, spodní	50,603733	15,166962	T
K41	Rohozec, A	50,600097	15,159130	T
K42	Dubá	50,600097	15,159130	M

3.6 Vrtý

Stanovení parametrů jsem mohl díky vedení Orlického muzea Chocẽ provádět také na vybraných úlomcích jader z hmotné dokumentace následujících vrtů v okolí České Třebové. Přejaté vzorky z vrtných průzkumů nebyly přejmenovány.

Tab. 4: Seznam vrtů, jejichž vzorky byly pro výzkum využity.

Vrt	Lokalita	X	Y
Lo - 11	Dolní Sloupnice	-1076959	-612370
Lo - 9	Hrušová	-1077761	-618419
Lo - 15/4	Pekla	-1078906	-617894
Lo - 17	Makov	-1084487	-619874
Lo - 20	Slatina	-1070375	-619845
Lo - 21	Končiny	-1079641	-612231

4 Výsledky výzkumu a diskuze lokalit

4.1 Obsah karbonátů

Na příštích dvou stránkách je uvedena tabulka s výčtem všech 158 zpracovaných vzorků. Zobrazované veličiny a jejich hodnoty jsou: RS (rozpustná složka; 0 – 100 %); ÚR (úrovně rozpadu; 1 – 5); Y (opad; 0 – 100 %); třída zrnitosti (s = střednězrné; j = jemnozrné; ap = aleuropelity; kryst = krystalická hornina) Pokud byly k dispozici, jsou zde hodnoty RS nahrazeny přesnější hodnotou množství obsažených karbonátů, získaných z laboratoře metodou kalcimetrie a v tom případě jsou řádky označeny hvězdičkou v poli „třída“. Vypočtená hodnota je tomto případě přepočítána ze známé hodnoty obsahu CO_2 či CaO na obsah CaCO_3 , tak, že byla vždy použita menší hodnota.

Tab. 5A: Výčet zpracovaných vzorků.

VZOREK	RS	ÚR	Y (opad)	Třída
K01A2	11,51%	2	0,0%	s*
K02A2	69,86%	5	100,0%	j*
K02B2	13,33%	3	2,3%	s*
K02C2	9,96%	2	0,6%	s*
K02D2	15,79%	3	8,9%	s*
K03A2	38,94%	4	17,5%	s*
K03B2	40,66%	3	6,5%	s*
K04A2	35,53%	3	5,4%	s*
K04B2	49,09%	4	18,7%	s*
K06A1	0,00%	1	0,0%	S
K07C	23,0%	3	10,2%	S
K09A1	0,00%	1	0,0%	S
K10A2	0,00%	1	0,0%	S
K10B	0,00%	1	0,0%	S
K10C1	25,02%	2	0,0%	s*
K10D1	0,00%	1	0,0%	S
K11A1	1,27%	-	-	s*
K11A2	1,33%	-	-	s*
K11C	21,52%	4	11,0%	s*
K12A2	0,04%	1	0,0%	s*
K12B1	0,03%	1	0,0%	s*
K13A2	0,00%	1	0,1%	s*
K13B2	37,18%	5	100,0%	s*
K13C2	1,48%	1	0,2%	s*
K14A2	0,05%	-	-	s*
K14B1	0,00%	1	0,00%	s*
K15A4	0,19%	-	-	s*
K16A2	0,86%	1	0,1%	s*
K17A	44,05%	3	2,1%	j*
K17B	47,29%	4	25,6%	j*
K17C	60,00%	-	-	j*
K18A2	71,56%	5	100,0%	j*
K18B1	53,14%	5	64,1%	j*
K19A	39,74%	5	100,0%	s*
K20A	57,95%	4	-	s*
K21A1	53,15%	5	100,0%	s*
K22B	28,76%	3	2,1%	s*
K22C2	31,14%	3	1,9%	s*
K22D	20,81%	-	-	s*
K23A	66,01%	5	100,0%	j*
K23B	72,12%	5	100,0%	j*
K23C	75,32%	5	88,1%	j*
K23D	77,22%	5	100,0%	j*
K24A1	25,19%	2	0,0%	j*

VZOREK	RS	ÚR	Y (opad)	Třída
K24B	27,43%	2	0,0%	j*
K24C	23,22%	2	0,6%	j*
K24D1	29,37%	2	0,0%	j*
K24E1	27,99%	2	0,0%	j*
K24F2	29,58%	2	0,0%	j*
K24G2	35,59%	2	0,0%	j*
K24H1	27,40%	2	0,0%	j*
K25A1	0,00%	1	0,0%	j*
K25B	40,89%	2	0,6%	j*
K26A	0,00%	1	0,0%	j*
K26B2	0,15%	1	0,0%	j*
K26C2	66,21%	4	17,8%	j*
K26D	0,05%	1	0,0%	j*
K27A2	78,15%	5	100,0%	j*
K28A2	51,88%	2	0,0%	j*
K28B	0,00%	1	0,0%	j*
K28C	2,29%	1	0,1%	j*
K29A1	57,23%	2	0,1%	ap*
K29B1	47,22%	3	4,8%	ap*
K30A2	44,27%	2	0,0%	j*
K31B	1,1%	1	0,0%	j
K32A1	34,61%	3	1,5%	j*
K33A	88,9%	5	100,0%	ap
K34Y	39,5%	2	0,1%	ap
K35AY	57,3%	2-3	0,0%	ap
K35B	26,7%	2	0,1%	ap
K36A	0,6%	1	0,0%	j
K36C	1,1%	1	0,0%	j
K36E	2,2%	1	0,0%	j
K36F1	1,5%	1	0,0%	j
K36G2	0,7%	1	0,0%	j
K36H	1,1%	1	0,0%	j
K36I1	1,0%	1	0,0%	j
K36J1	4,7%	1	0,0%	j
K36K	16,1%	2	0,0%	j
K36L1	1,9%	1	0,0%	j
K36M	5,3%	1	0,0%	j
K36N1	7,2%	1	0,0%	j
K36O	8,1%	1	0,0%	j
K36P	5,5%	1	0,0%	j
K36R	10,5%	1	0,0%	j
K36S1	7,7%	1	0,0%	j
K37A	46,3%	3	10,0%	j
K38A	0,9%	1	0,5%	j

Tab. 5B: Výčet zpracovaných vzorků.

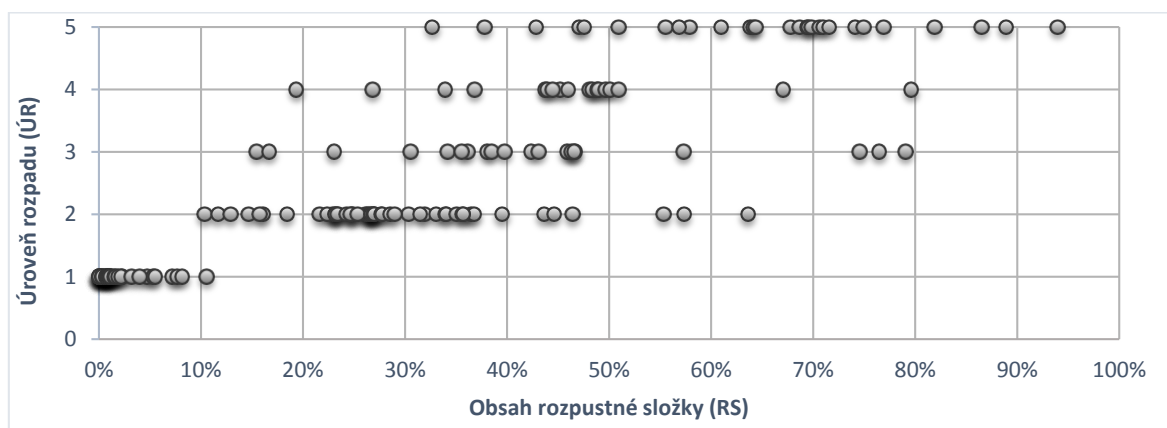
VZOREK	RS	ÚR	Y (opad)	Třída
K38B	19,3%	4	14,0%	s
K39A	47,1%	5	100,0%	s
K39B	50,9%	5	85,0%	j
K39C	39,8%	3	8,3%	j
K39D	43,9%	4	15,1%	j
K40A	69,8%	5	85,4%	j
K40B	48,3%	4	37,7%	j
K40C	50,1%	4	25,6%	j
K40D	44,5%	4	19,4%	j
K40E	49,6%	4	46,9%	j
K40F	30,4%	2	0,7%	j
K40G	36,8%	4	17,7%	j
K40H	63,8%	5	100,0%	j
K40I	67,8%	5	100,0%	j
K40J	43,7%	4	15,8%	j
K40K	45,9%	3	6,2%	j
K40L	64,4%	5	100,0%	j
K40M	46,0%	4	44,5%	j
K40N	32,7%	5	63,0%	j
K40P	48,1%	4	28,1%	j
K40Q	64,2%	5	56,0%	j
K40R	35,5%	3	1,9%	j
K40S	38,5%	3	3,3%	j
K40T	43,1%	3	5,0%	j
K40U	75,0%	5	100,0%	j
K40V	50,9%	4	25,1%	j
K40W	70,6%	5	100,0%	j
K40X	61,0%	5	74,8%	j
K41A	47,6%	5	64,0%	j
K41B	55,6%	5	100,0%	j
K41C	49,0%	4	17,0%	j
K41D	69,6%	5	100,0%	j
K42A	31,9%	2	0,2%	j
Lo - 9 / 49,5	63,6%	2	0,0%	ap
Lo - 9 / 51,5	27,0%	2	0,0%	ap
Lo - 9 / 52,1	18,4%	2	0,0%	ap
Lo - 9 / 53,3	74,6%	3	4,1%	ap
Lo - 9 / 54,5	27,7%	2	0,0%	ap
Lo - 9 / 55	21,7%	2	0,0%	ap
Lo - 11 / 20,7	35,1%	2	0,1%	ap
Lo - 11 / 23	27,7%	2	0,0%	ap
Lo - 11 / 23,5	23,2%	2	0,0%	ap
Lo - 11 / 25	26,7%	2	0,0%	ap
Lo - 11 / 29	23,2%	2	0,0%	ap

VZOREK	RS	ÚR	Y (opad)	Třída
Lo - 11 / 30,8	79,0%	3	5,6%	ap
Lo - 11 / 31,6	33,1%	2	0,1%	j
Lo - 11 / 156,5	12,9%	2	0,0%	ap
Lo - 11 / 160	31,5%	2	0,0%	ap
Lo - 11 / 161	23,4%	2	0,0%	ap
Lo - 11 / 170	24,7%	2	0,0%	ap
Lo - 11 / 182	34,0%	2	0,0%	ap
Lo - 11 / 184	29,0%	2	0,1%	ap
Lo - 11 / 185	24,3%	2	0,0%	ap
Lo - 15 / 78	34,1%	2	0,0%	ap
Lo - 15 / 80,7	22,4%	2	0,0%	ap
Lo - 15 / 88,4	14,7%	2	0,0%	ap
Lo - 15 / 99,5	15,7%	2	0,0%	ap
Lo - 17 / 123	76,5%	3	4,6%	ap
Lo - 17 / 123,3	79,6%	4	33,5%	ap
Lo - 17 / 123,5	25,3%	2	0,0%	ap
Lo - 17 / 134,5	28,5%	2	0,0%	ap
Lo - 17 / 167,3	26,9%	2	0,0%	ap
Lo - 17 / 170,3	35,6%	2	0,0%	ap
Lo - 20 / 234	35,7%	2	0,1%	ap
Lo - 20 / 28,5 A	81,9%	5	100,0%	ap
Lo - 20 / 28,5 B	94,0%	5	100,0%	kryst
Lo - 20 / 32,5	46,4%	2	0,2%	ap
Lo - 20 / 39,3	44,6%	2	0,2%	ap
Lo - 21 / 151,6	4,0%	1	100,0%	ap
Lo - 21 / 152,4	23,4%	2	0,1%	j

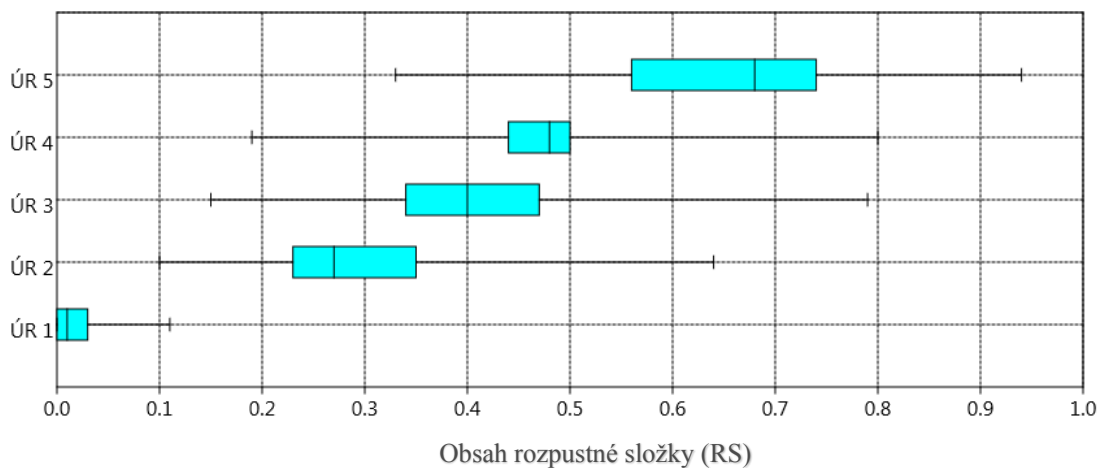
4.2 Výsledky pokusů s loužením

4.2.1 Pevnost hornin po loužení – celkový pohled

S využitím klasifikace popsané v kap. 3.3.2 jsem studované horniny zařadil podle jejich reakce na loužení do pěti úrovní rozpadu (ÚR). Souhrnný přehled o intervalech, do kterých byly rozřazeny, podávají Obr. 4.1 a 4.2.



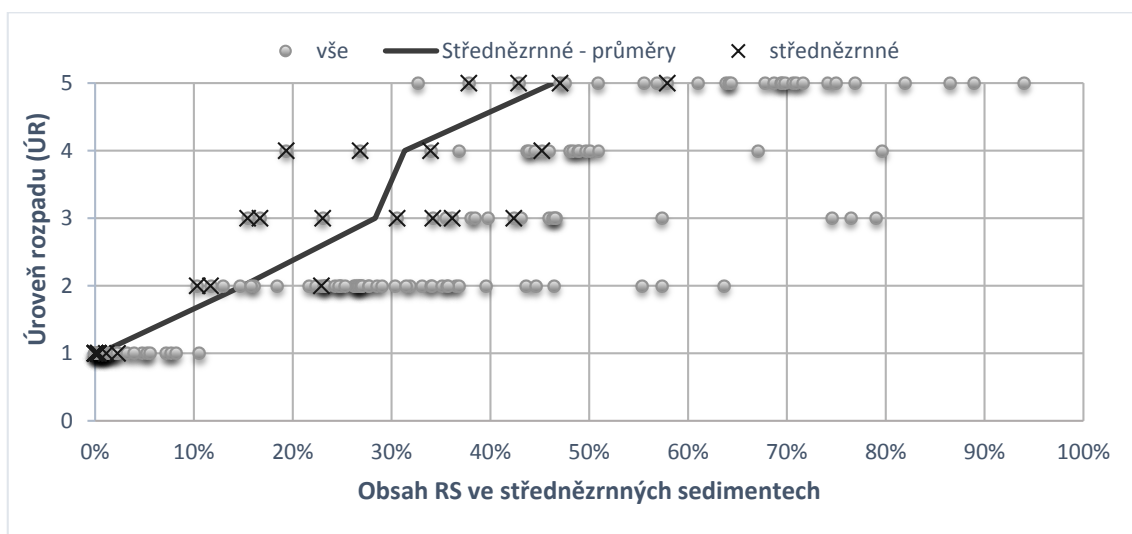
Obr. 4.1: Rozdělení všech vyhodnocených vzorků do jednotlivých úrovní.



Obr. 4.2: Krabicový diagram hodnot RS zjištěných pro jednotlivé ÚR. Hodnota porozity je zde uvedena jako desetinné číslo kvůli použitému statistickému programu.

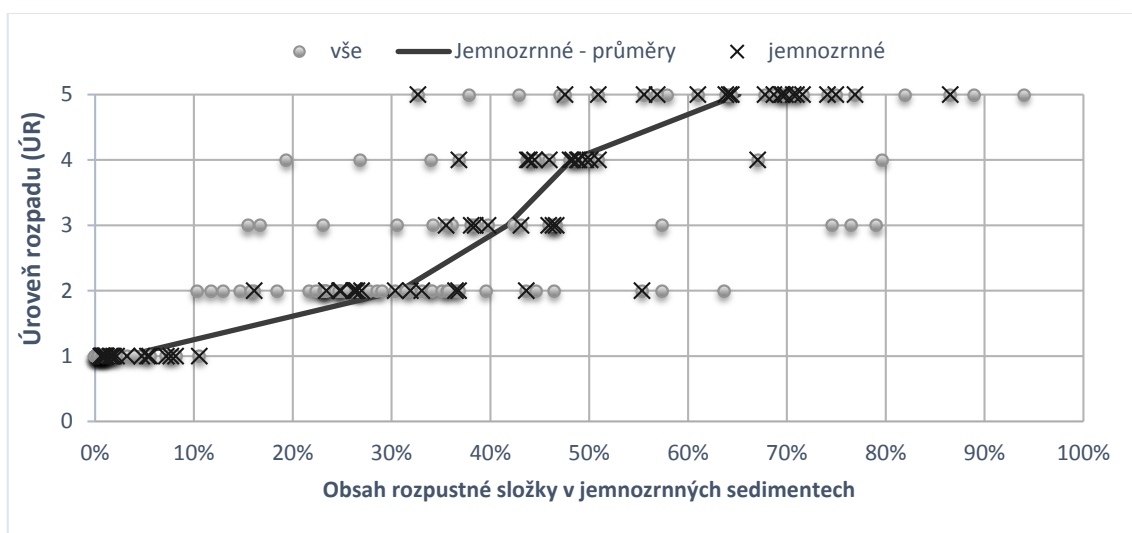
Z grafů v Obr. 4.1 a 4.2 je zřejmé, že s nárůstem obsahu RS v horninách také stoupá jejich rozpadavost. Průměrný obsah RS (Obr. 4.2) u jednotlivých úrovní narůstá zhruba o 10 - 25 %. Také je ale zřejmé, že definované úrovně rozpadu se na většině intervalu RS překrývají. Z toho vyplývá, že RS není jediným parametrem pro rozpadavost vzorků po loužení, pravděpodobně je však jeden z nejdůležitějších.

Protože v Obr. 4.1 a 4.2 je vyneseno celé spektrum zkoumaných hornin, které již nelze obsáhnout jednotným popisem, rozdělil jsem graf na tři podle tříd zrnitosti hornin. Pod každým grafem je popis toho, jak se od sebe třídy liší.



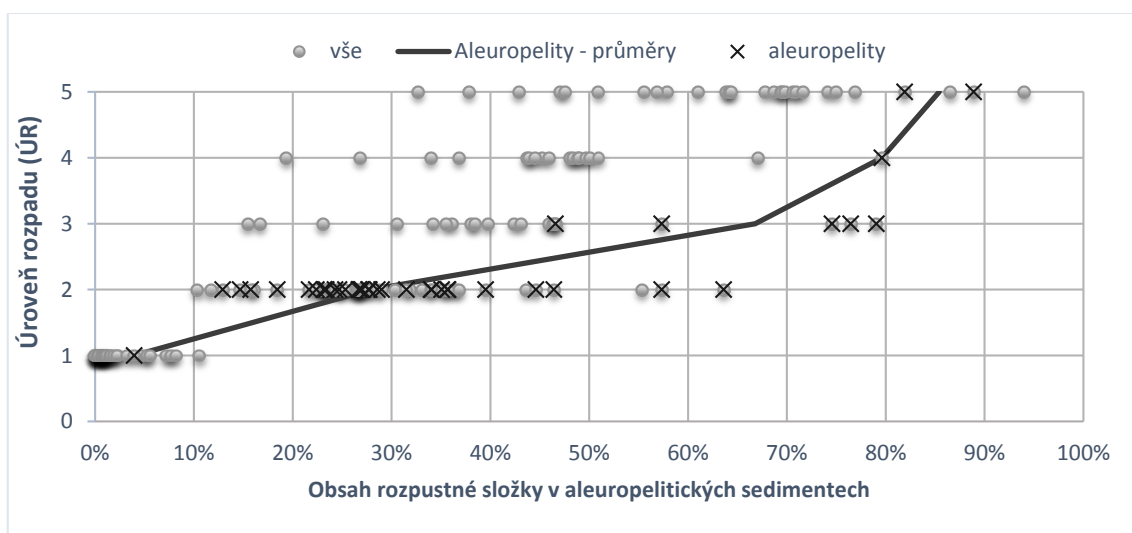
Obr. 4.3 Rozdělení střednězrnných vzorků do jednotlivých úrovní. Křížky: Střednězrnné vzorky. Šedé body: Ostatní vzorky. Černá čára spojuje průměrné hodnoty RS střednězrnných vzorků v jednotlivých úrovních.

Mezi vzorky, jež se při zpracování jevily jako střednězrnné, připadly všechny kvádrové pískovce a některé hrubší vápnité pískovce. Pískovce s kaolinickým tmelem zaujaly místo na počátku ÚR 1, (nezvětralá). Jak pozoroval i Slavík (2012), na zvětrávání takových pískovců nemá kyselé prostředí téměř žádný vliv. První pozorovaná ztráta pevnosti je u 10 % RS. Střednězrnných hornin na ÚR 2, (snížená pevnost) není mnoho. To je pravděpodobně způsobeno tím, že po narušení vápnitého tmelu se křemenná zrna silně rozvolní a tím následně dochází k intenzivnějšímu rozpadu. ÚR 3, (slabý rozpad) a ÚR 4, (střední rozpad) se u této sady prakticky překrývají v intervalu od 15 do 45 % RS. Střední rozpad je u střednězrnných hornin specifický tím, že si vzorky zachovávají tvar podobný tomu původnímu, ale mnohem více se drolí na povrchu, čímž narůstá množství opadu. ÚR 5, (úplný rozpad) začíná na 35 % RS a končí blízko 60 %. Zásadní skutečností je, že střednězrnné horniny zabírají na všech úrovních rozpadu místa s nižšími obsahy RS než jemněji zrnité horniny.



Obr. 4.4 Rozdělení jemnozrnných vzorků do jednotlivých úrovní. Křížky: Jemnozrné vzorky. Šedé body: Ostatní vzorky. Černá čára spojuje průměrné hodnoty RS jemnozrnných vzorků v jednotlivých úrovních.

Jako jemnozrné se jevila většina odebraných vápnných pískovců, ale i rohovců, silicity a spongilitů, u kterých však pro jejich pevnost po loužení často nebylo zřejmé, jak moc jemnozrné jsou. Zmíněné silicity měly zrna mnohdy částečně rekrystalovaná a tím i pevně spojená. Zároveň jejich obsah RS byl obvykle do 5 % a proto tvoří spolu se spongility většinu ÚR 1 (nezvětralá). Ke změknutí horniny na ÚR 2 (snížená pevnost) dochází tak, že se malý podíl tmelu rozpustí, ale většina zůstane nezasažena. U rekrystalovaných hornin s křemenným tmelem může být ztráta pevnosti téměř neznatelná. Hlavní část vzorků leží v intervalu 10–30 % RS, od 30 % výše se většinou jedná o prokřemenělé horniny a horniny přesahující 50 % RS obsahují i velké množství vápnných schránek. ÚR 3, (slabý rozpad) a ÚR 4, (střední rozpad) se znovu částečně překrývají v intervalu od 35 do 50 % RS. Nejvyšší obsahy RS byly zjištěny v případě vápnné konkrece, kde pevnost pravděpodobně udržuje překrystalovaný křemen. Protože většina zde zastoupených vzorků náleží do profilu jizerským souvrstvím u Turnova, liší se vzorky pouze poměrným zastoupením vrstviček s menším či větším zastoupením CaCO_3 . Podobně je tomu i pro ÚR 5 (úplný rozpad), která v tomto případě až na jednu výjimku zahrnuje všechny horniny s obsahem RS větším, než 50 %. Některé vzorky v rozmezí 50–70 % RS obsahovaly také méně významná tělesa či vrstvičky (do 30 % obj.) méně rozpadavého materiálu.



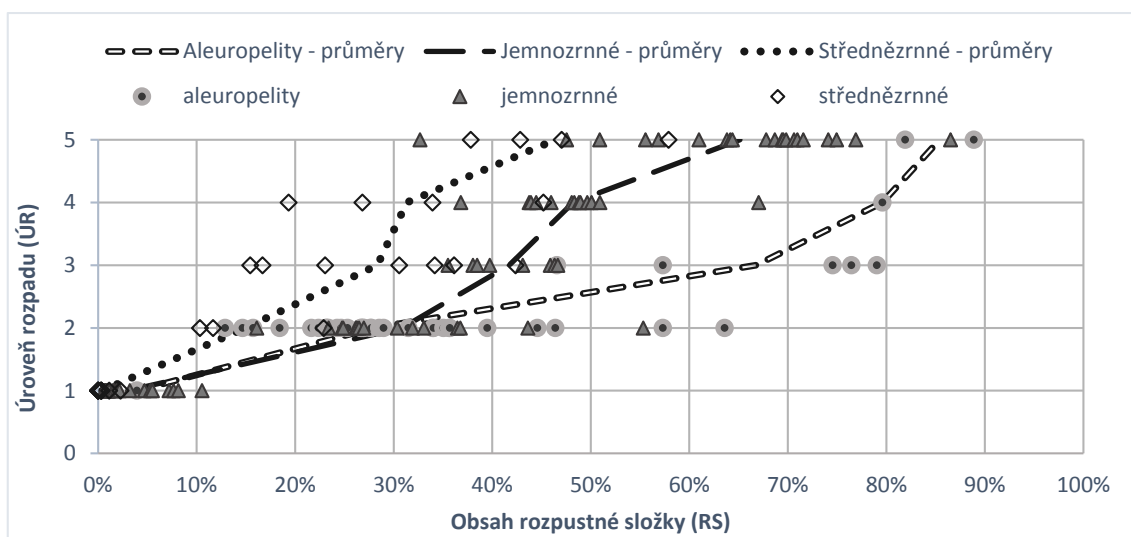
Obr. 4.5 Rozdělení aleuropelitických vzorků do jednotlivých úrovní. Křížky: Aleuropelitické vzorky. Šedé body: Ostatní vzorky. Černá čára spojuje průměrné hodnoty RS aleuropelitických vzorků v jednotlivých úrovních.

Do skupiny aleuropelitů připadla většinu slínovců, z nichž některé obsahovaly i příměs jehlic mořských hub. Až na jeden vzorek se zahrnuté vzorky nachází na ÚR 2 (snížená pevnost) a výše. To napovídá tomu, že jemný prach sedimentoval ve stejných místech jako organogenní vápnlitý kal. Hlavní zvláštností takto jemnozrnných hornin je to, že dokáží zůstat soudržné i s velmi vysokým obsahem RS. ÚR 2 dosahuje až 65 % a tím posouvá křivku průměrných RS mnohem dále, než u ostatních hornin. ÚR 3 (slabý rozpad) spolu s ÚR 4 (střední rozpad) tak dosahují až na překvapivých 80 % obsahu RS. Bohužel jsem neměl k dispozici dostatek vzorků k tomu, abych mohl posoudit, zda je hranice 80 % RS tak ostrá, jak se jeví na Obr. 4.5. Nad touto hranicí leží pouze dva vzorky s ÚR 5 (úplný rozpad).

Celkový výčet vzorků je nyní možné rozdělit do tří výše popsanych skupin a v jednom grafu porovnat průměrné průběhy pro jednotlivé kategorie vzorků. Ačkoli zařazení některých vzorků může být subjektivní, lze v grafu na Obr. 4.6 dobře vidět, že zrnitost vzorku velmi významně ovlivňuje jeho chování při loužení. Na většině úrovní jsou od sebe průměrné vzorky zrnitostních tříd vzdáleny zhruba o stejnou hodnotu RS (20 – 30 %), jako je rozsah mnoha intervalů zrnitostních tříd na jednotlivých úrovních (obvykle 30 % RS). Na základě takového pozorování je možné tvrdit, že vliv zrnitosti na chování může být přibližně stejně významný, jako je obsah RS.

Je tak zcela zřejmé, že míru rozpadu hornin a rozšiřování porozity rozpouštěním nelze odhadnout jen z obsahu CaCO_3 , ale je nutné znát i zrnitost materiálu. Zatímco střednězrnné

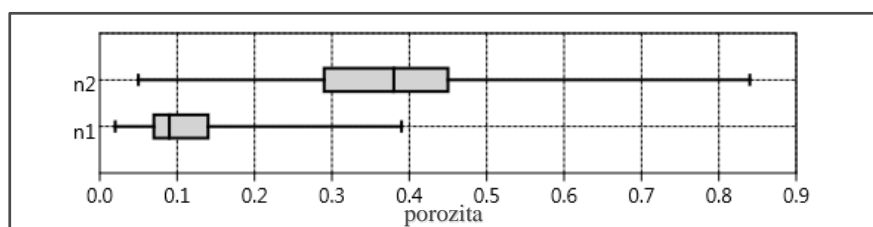
pískovce se rozpadají při obsahu karbonátu průměrně nad 40 %, jemnozrnné nad 60 % a aleuopelity se nerozpadají ani při ještě vyšších obsazích. Výsledky také mohou vysvětlovat, proč nebylo zjištěno krasovění a rozšiřování porozity ve slínovcích a kalových mikritech v centrální části ČKP. Přesto, že mají tyto horniny vysoký obsah karbonátu, jsou velmi málo propustné. Výsledek loužení ukazuje, že přes vysoký obsah karbonátu se tyto horniny ani po loužení nerozpadají a krasové kanály v nich nemohou rozšiřovat.



Obr. 4.6: Rozdělení vzorků do jednotlivých úrovní a tříd. Křivky spojují průměrné hodnoty tříd v jednotlivých ÚR.

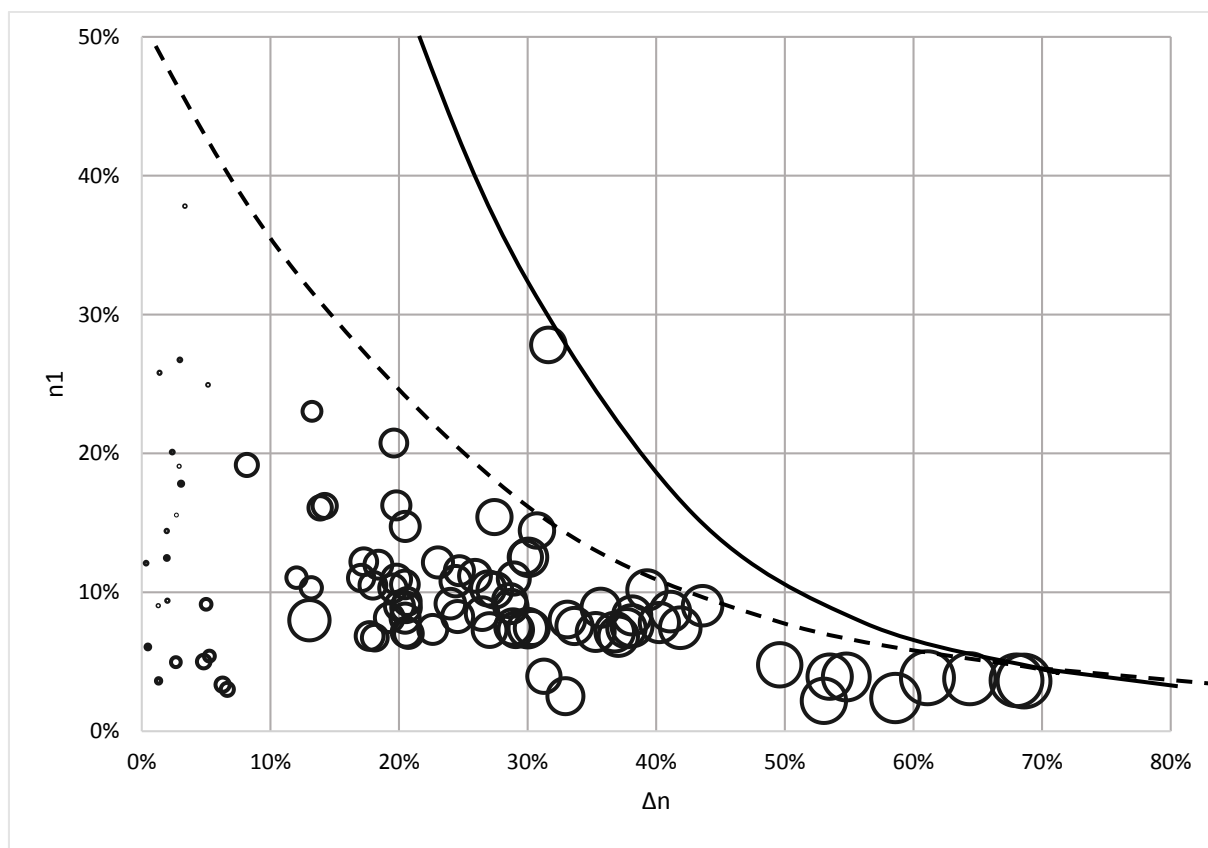
4.2.2 Porozita hornin

Z výzkumu vyplynulo, že porozita hornin loužením narůstá, a to i u hornin s velmi malým obsahem rozpustných látek v řádu prvních procent. Toto tvrzení dokládá krabicový diagram na Obr. 4.7. Porozita zkoumaných vzorků narůstala v průměru o 0,3. Zajímavé je, že lze pozorovat malý nárůst i u hornin s obsahem karbonátů kolem 0,5 %, které s roztokem reagovaly bez viditelného projevu v podobě bublinek unikajícího CO_2 .



Obr. 4.7: Krabicový diagram zobrazující porozitu hornin před (n1) a po loužení (n2). Hodnota porozity je zde uvedena jako desetinné číslo kvůli použitému statistickému programu.

Další informace lze vypořádat, pokud se zaměříme na hodnoty porozity a jejich změny v důsledku loužení u jednotlivých vzorků. V grafu vzájemné závislosti mezi hodnotou porozity před loužením (n_1) a změnou porozity po loužení (Δn) je patrná obalová křivka, která vykazuje nepřímou úměru mezi oběma parametry. Vzorky s vysokou primární porozitou ($n_1 > 25\%$) tak po loužení vykazují pouze relativně malou změnu porozity (až kolem 20 %) a naopak pouze vzorky s nízkou porozitou před loužením ($n_1 < 5\%$) vykazují po loužení nárůst porozity až o 50-80 %. V grafu na Obr. 4.8 je tato závislost doplněna i o vyjádření množství RS v jednotlivých vzorcích pomocí kružnic. Velikost plochy kružnic v grafu vyznačuje obsah RS. Nejmenší kružnice mají hodnoty prvních procent, největší kružnice dosahují hodnoty RS až 80 %. Je logické, že velikost kružnic narůstá ve stejném směru jako změna porozity. Rozpuštěné minerály zanechávají dutiny v matrix a tím se zvětšuje porozita. Seznam vyobrazených vzorků je uveden v Tab. 6.

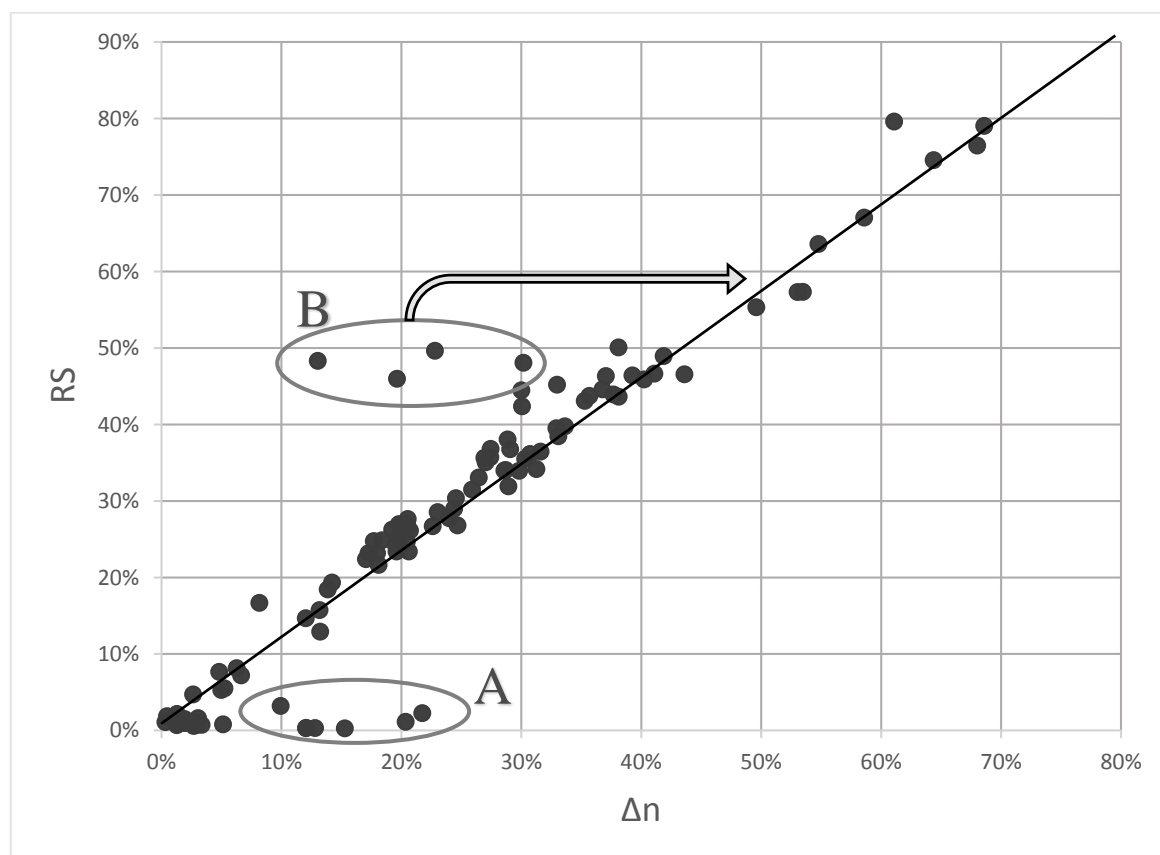


Obr. 4.8: Bublinový diagram zobrazující vztah původní porozity (n_1), relativní změny porozity (Δn) a množství RS v hornině (kružnice). Ze souboru byly vynechány anomální vzorky zmiňované níže. Jejich seznam je uveden v příloze 8.2

Inverzní vztah mezi množstvím RS a porozitou může být dán tím, že se kalcit v horninách ukládá jako mikritický kal biochemogenního původu a tak dokáže obsazovat

i nejjemnější mezery mezi nezpevněnými klasy. Následující diagenese může kalcit ještě rekrystalovat a redistribuovat, což vede k dodatečnému zaplnění pórů. Tento jev je při diagenезi karbonátů běžný (např. Šrámek, 2005). Takové horniny mají porozity v řádu prvních procent. Vyobrazená obalová křivka v Obr. 4.8 vyjadřuje hranici, za kterou jsou hodnoty porozity příliš vysoké na to, aby mohl vzorek zachovat soudržnost. Jednotlivé druhy sedimentů však pravděpodobně mají tyto křivky různě položené. Plná křivka na Obr. 4.8 je míněna jako jedna z více možných a v tomto případě ohraničuje nejodolnější zastižené vzorky. Pro většinu zpracovaných vzorků by mohla platit spíše čárkovaná křivka. Porozitu vzorků, jež se úplně rozpadly, není ze zřejmých důvodů možné správně změřit, a proto nemohou být v grafu zahrnuty. Patrně by se většinou zobrazovaly nad obalovou křivkou.

Vztah mezi RS a změnou porozity udává graf na Obr. 4.9. Pokud zanedbáme asi 10 anomálních bodů (10 % ze souboru), vzniká velice těsná přímka: $\Delta n = 0,875 * Z$. Pearsonův koeficient korelace je 0,937 ve výběru obsahujícím i anomálními body. Pokud budou z výběru vynechány, bude mít Pearsonův koeficient korelace hodnotu 0,988. Seznam vyobrazených vzorků je uveden v Tab. 6.



Obr. 4.9: Graf zobrazující závislost obsahu RS na změně porozity.

Zmíněné anomálie jsou dvojího typu. První je skupina (A) při spodní hranici grafu. Zde se nachází vzorky pískovců, které při měření (n_1) nebyly dostatečně nasyceny vodou, avšak po několika týdnech v loužicím roztoku a ztrátě několika desetin procent RS dosáhly vyšší hodnoty nasycení pórového prostoru. Jde tedy o chyby v měření původní porozity (n_1). Druhou anomálii tvoří skupina vzorků (B), ve kterých po loužení zůstaly uzavřené bublinky CO_2 vzniklé reakcí HCl s CaCO_3 . Měřená n_2 těchto vzorků je tedy snížena kvůli malé hmotnosti plynu, který se nachází v uzavřeninách. Kdyby byly vzorky ideálně nasyceny, posunuly by se pravděpodobně na zmíněnou přímku. Malé zastoupení vzorků s touto anomálií v měřeném souboru vzorků (5 %) naznačuje, že je zapotřebí zvláštní minerální složení pro vznik takových uzavřenin. Výčet anomálních vzorků je uveden v příloze.

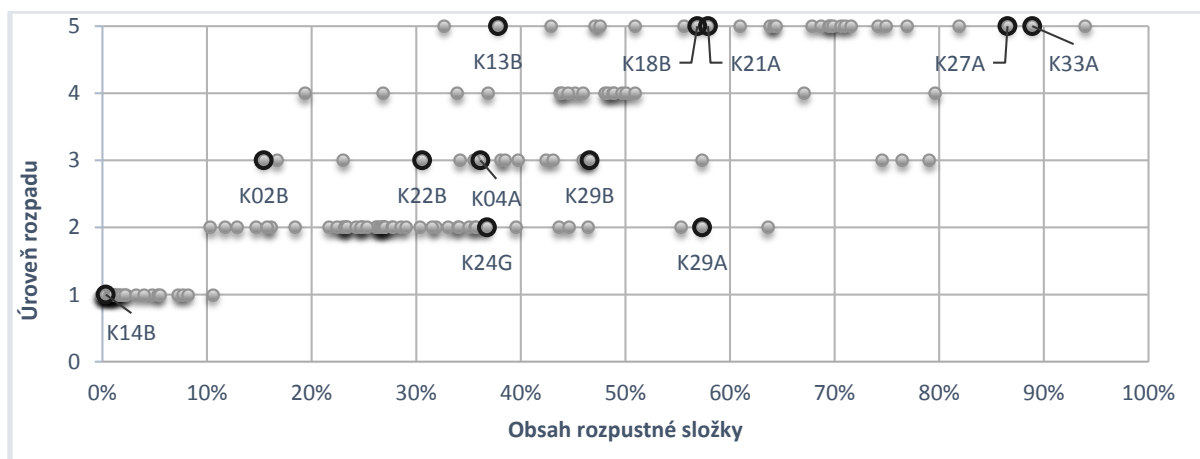
Graf je také možné využít tak, že při vynesení n_2 (po odečtení předpokládané původní porozity 5 – 10 %) na vodorovné ose ukazuje orientačně původní obsah RS vzorků odvápněných zvětráváním in situ ještě před odběrem vzorku.

Tab. 6: Výčet vzorků s měřenou porozitou. Uvedena je porozita před (n1) i po loužení (n2), jejich rozdíl (Δn) a pro názornost i RS. Hodnoty jsou zaokrouhleny.

VZOREK	n1	n2	Δn	RS	VZOREK	n1	n2	Δn	RS
K02B2	18%	22%	4%	13,33%	K37A	7%	44%	37%	46,3%
K02C2	18%	29%	11%	9,96%	K38A	26%	27%	1%	0,9%
K02D2	19%	27%	8%	15,78%	K38B	16%	30%	14%	19,3%
K03A2	13%	42%	30%	41,28%	K39C	8%	41%	34%	39,8%
K03B2	13%	43%	30%	40,66%	K39D	7%	45%	38%	43,9%
K04A2	14%	45%	31%	35,14%	K40B	8%	21%	13%	48,3%
K04B2	12%	45%	33%	49,69%	K40C	8%	46%	38%	50,1%
K11C	12%	36%	25%	23,01%	K40D	7%	37%	30%	44,5%
K12A2	15%	27%	12%	0,42%	K40E	8%	30%	23%	49,6%
K12B1	23%	35%	12%	0,29%	K40F	8%	33%	25%	30,4%
K13A2	27%	42%	15%	0,13%	K40G	10%	38%	27%	36,8%
K13C2	22%	43%	22%	1,70%	K40J	9%	45%	36%	43,7%
K14B1	26%	39%	13%	1,04%	K40K	8%	48%	40%	45,9%
K16A2	26%	46%	20%	1,05%	K40M	10%	29%	20%	46,0%
K17A	9%	50%	41%	44,05%	K40P	7%	37%	30%	48,1%
K22C2	4%	35%	31%	31,13%	K40R	7%	38%	30%	35,5%
K24A1	12%	30%	18%	25,20%	K40S	8%	41%	33%	38,5%
K24B	8%	29%	20%	27,63%	K40T	7%	42%	35%	43,1%
K24D1	7%	28%	21%	29,38%	K41C	7%	49%	42%	49,0%
K24E1	8%	27%	19%	28,00%	K42A	11%	40%	29%	31,9%
K24F2	7%	28%	21%	29,91%	Lo - 11 / 156,5	23%	47%	13%	12,9%
K24G2	7%	36%	29%	35,59%	Lo - 11 / 160	11%	44%	26%	31,5%
K24H1	7%	25%	18%	27,75%	Lo - 11 / 161	9%	38%	21%	23,4%
K25A1	19%	22%	3%	0,02%	Lo - 11 / 170	11%	38%	20%	24,7%
K25B1	28%	59%	32%	42,66%	Lo - 11 / 182	9%	44%	29%	34,0%
K26A	25%	30%	5%	0,02%	Lo - 11 / 184	11%	41%	24%	29,0%
K26B2	14%	16%	2%	0,14%	Lo - 11 / 185	10%	39%	20%	24,3%
K26C2	2%	61%	59%	66,82%	Lo - 11 / 20,7	7%	45%	27%	35,1%
K26D	18%	21%	3%	0,05%	Lo - 11 / 23	9%	37%	21%	27,7%
K28A2	5%	54%	50%	51,87%	Lo - 11 / 23,5	11%	38%	18%	23,2%
K28B	38%	41%	3%	0,02%	Lo - 11 / 25	9%	37%	20%	26,7%
K28C	39%	49%	10%	2,30%	Lo - 11 / 29	12%	36%	17%	23,2%
K29A1	4%	57%	53%	58,90%	Lo - 11 / 30,8	4%	84%	69%	79,0%
K29B1	9%	53%	44%	47,21%	Lo - 11 / 31,6	8%	44%	26%	33,1%
K30A2	8%	46%	38%	44,30%	Lo - 15 / 78	9%	46%	29%	34,1%
K31B	27%	30%	3%	1,1%	Lo - 15 / 80,7	11%	35%	17%	22,4%
K32A1	7%	36%	29%	35,61%	Lo - 15 / 88,4	11%	30%	12%	14,7%
K34Y	3%	35%	33%	39,5%	Lo - 15 / 99,5	10%	30%	13%	15,7%
K35AY	2%	55%	53%	57,3%	Lo - 17 / 123	4%	80%	68%	76,5%
K35B	7%	30%	23%	26,7%	Lo - 17 / 123,3	4%	72%	61%	76,5%
K36A	16%	18%	3%	0,6%	Lo - 17 / 123,5	16%	42%	20%	25,3%
K36C	20%	22%	2%	1,1%	Lo - 17 / 134,5	12%	42%	23%	28,5%
K36E	4%	5%	1%	2,2%	Lo - 17 / 167,3	15%	42%	20%	26,9%
K36F1	12%	14%	2%	1,5%	Lo - 17 / 170,3	10%	44%	27%	35,6%
K36G2	9%	10%	1%	0,7%	Lo - 20 / 234	15%	49%	27%	35,7%
K36H	12%	12%	0%	1,1%	Lo - 20 / 32,5	10%	56%	39%	46,4%
K36I1	9%	11%	2%	1,0%	Lo - 20 / 39,3	7%	51%	37%	44,6%
K36J1	5%	8%	3%	4,7%	Lo - 21 / 152,4	21%	47%	20%	23,4%
K36L1	6%	7%	0%	1,9%	Lo - 9 / 49,5	4%	68%	55%	63,6%
K36M	9%	14%	5%	5,3%	Lo - 9 / 51,5	11%	38%	20%	27,0%
K36N1	3%	10%	7%	7,2%	Lo - 9 / 52,1	16%	38%	14%	18,4%
K36O	3%	10%	6%	8,1%	Lo - 9 / 53,3	4%	76%	64%	74,6%
K36P	5%	11%	5%	5,5%	Lo - 9 / 54,5	9%	41%	24%	27,7%
K36S1	5%	10%	5%	7,7%	Lo - 9 / 55	7%	32%	18%	21,7%

4.3 Mikrosonda

Na následujících stranách jsou vyobrazeny fotografie vzorků, pořízené Janou Schweigstilovou na vybraných vzorcích hornin. Díky fotografiím lze porovnat minerální složení hornin před a po loužení. Výběr vzorků byl zaměřen na různě vysoký obsah RS a také různé ÚR. V grafu na Obr. 4.10 je vyobrazeno, jaké vzorky dle obsahu RS a chování při loužení (popsaného v kap. 3.3.2) výběr zahrnuje.



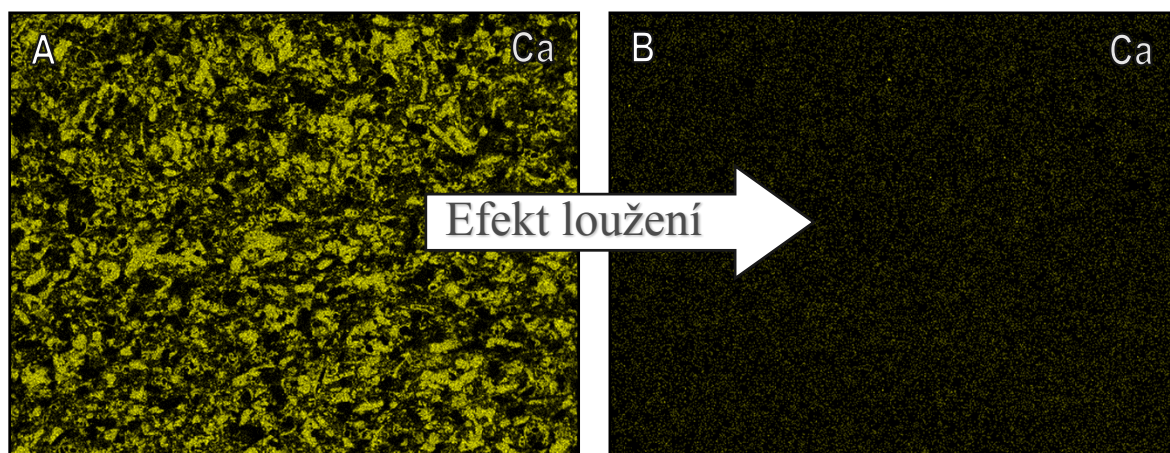
Obr. 4.10: Závislost ÚR vyhodnocených vzorků na RS se zvýrazněnou polohou vzorků vybraných pro analýzu na mikrosondě.

Na následujících stránkách jsou uváděny fotografie hornin, kde je u každého snímku uvedeno, o jaký prvek se jedná. Na jedné fotografii je vždy barevně zvýrazněn pouze jeden prvek. Popis zobrazovaného prvku je vždy uveden pod snímkem. Sytost barvy indikuje koncentraci prvku v daném bodě. Tmavá místa indikují body s velmi malou koncentrací daného prvku. Různá svítivost obrazů je způsobena nastavením přístroje, nikoli vlastnostmi hornin. Zobrazované objekty jsou na vyobrazených snímcích zvětšeny 35x (při formátu A4), pokud není uvedeno jinak. Dále je u snímků A a B přiložené měřítko.

Na snímcích je možné rozpoznat minerály jako křemen (SiO_2) - podle intenzity Si, kalcit (CaCO_3) – podle intenzity Ca, ortoklas (KAlSi_3O_8) – méně intenzivní Si než u křemene a podle intenzity Al a K, a blíže neurčené jílové minerály, např. kaolinit ($\text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$) – podle intenzity Al ve stejných bodech jako podobně intenzivní Si.

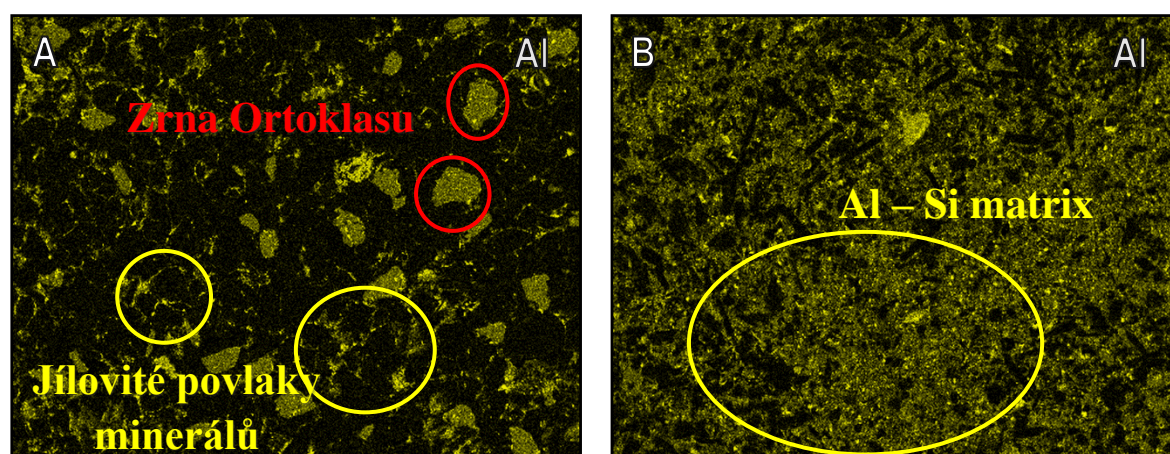
Pozorování vzorků prokázalo předpoklad, že loužení rozpustí veškerý CaCO_3 , který následně odchází z horniny pryč společně s původním roztokem. Změna je na příkladu vzorku

K24G uvedena na Obr. 4.11: A a B. Dále v textu již uváděna není, protože u ostatních vzorků je efekt vesměs totožný. Z porovnání je jasné zřetelné, že rozpustné látky ve vzorku nezůstávají i přesto, že v případě vyobrazené horniny nedošlo loužením k jejímu rozpadu.



Obr. 4.11: Porovnání obsahu Ca v hornině před a po loužení. Obr. 11 A zobrazuje vzorek před loužením, kde je Ca zvýrazněné žlutou barvou. Ostatní prvky jsou zde ztmavlé. Obr. 11 B zobrazuje jiné místo stejného vzorku, který byl loužen. Zbytky Ca jsou žluté, stejně jako na Obr. 11 A.

Zajímavou roli má z prvků také hliník, který se může vyskytovat přímo v zrnech, pokud se jedná o aluminosilikát – např. v ortoklasu (Obr. 12 A). Často však tvoří součást tmelu, kde se může nacházet v jílových minerálech či v rekrystalovaných aluminosilikátech. Jindy se nachází pouze v jílovitých povlácích křemenných zrn (viz. Obr. 4. 12 A). Role hliníkatých minerálů pro soudržnost hornin je tedy poměrně významná a z toho důvodu je uváděn i v příložených sadách fotografií. Hliník však může pocházet i z brusiva, používaného při zpracování vzorků.



Obr. 4.12 A, B: Funkce Al minerálů. Na Obr. A (K18B) je zřetelných mnoho zrn ortoklasu a také jílové minerály, jež obalují zrna křemene. Na Obr. B (K29A) je zobrazena hornina, které dodává aluminosilikátová matrix velkou soudržnost. Stav hornin je před loužením.

4.3.1 Zhodnocení vybraných vzorků

Na dalších stránkách jsou vyobrazeny sady snímků, které vždy pochází z totožného vzorku. Pod sadou fotografií se nachází text, popisující význačné jevy, které lze v obrázcích pozorovat. Všechny snímky jsou uvedeny ve stejném rozlišení. U hornin, které se úplně rozpadly, nejsou ze zjevných důvodů přikládány snímky B a D. Rozložení obrazových tabulí však ponechávám pro přehlednost stejné.

Systém zobrazování je vždy následující:

Obr. **A**: Hornina **před loužením**. Snímek zobrazuje zpětně odražené elektrony, nezvýrazňuje tedy žádný specifický prvek. Minerály na snímku jsou světlé. Jako tmavá místa se zobrazí prohlubně.

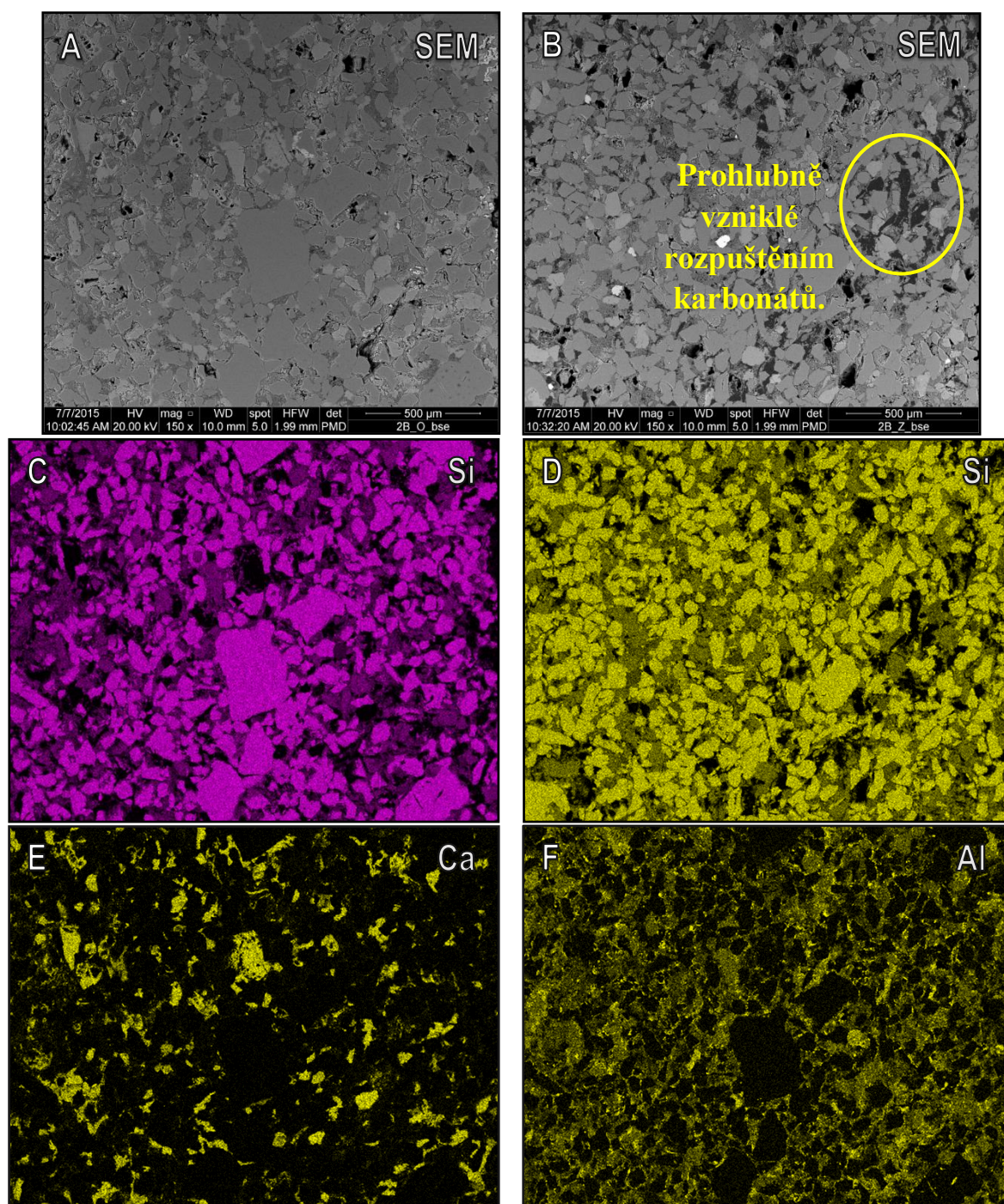
Obr. **B**: Hornina ve stavu **po loužení**. Snímek vyobrazuje materiál totožným způsobem, jako v případě Obr. A. Snímek zobrazuje pochopitelně jiné místo stejného vzorku.

Obr. **C**: Zvýraznění **křemíku** v hornině před loužením (odpovídá Obr. **A**)

Obr. **D**: Zvýraznění **křemíku** v hornině po loužení (odpovídá Obr. **B**)

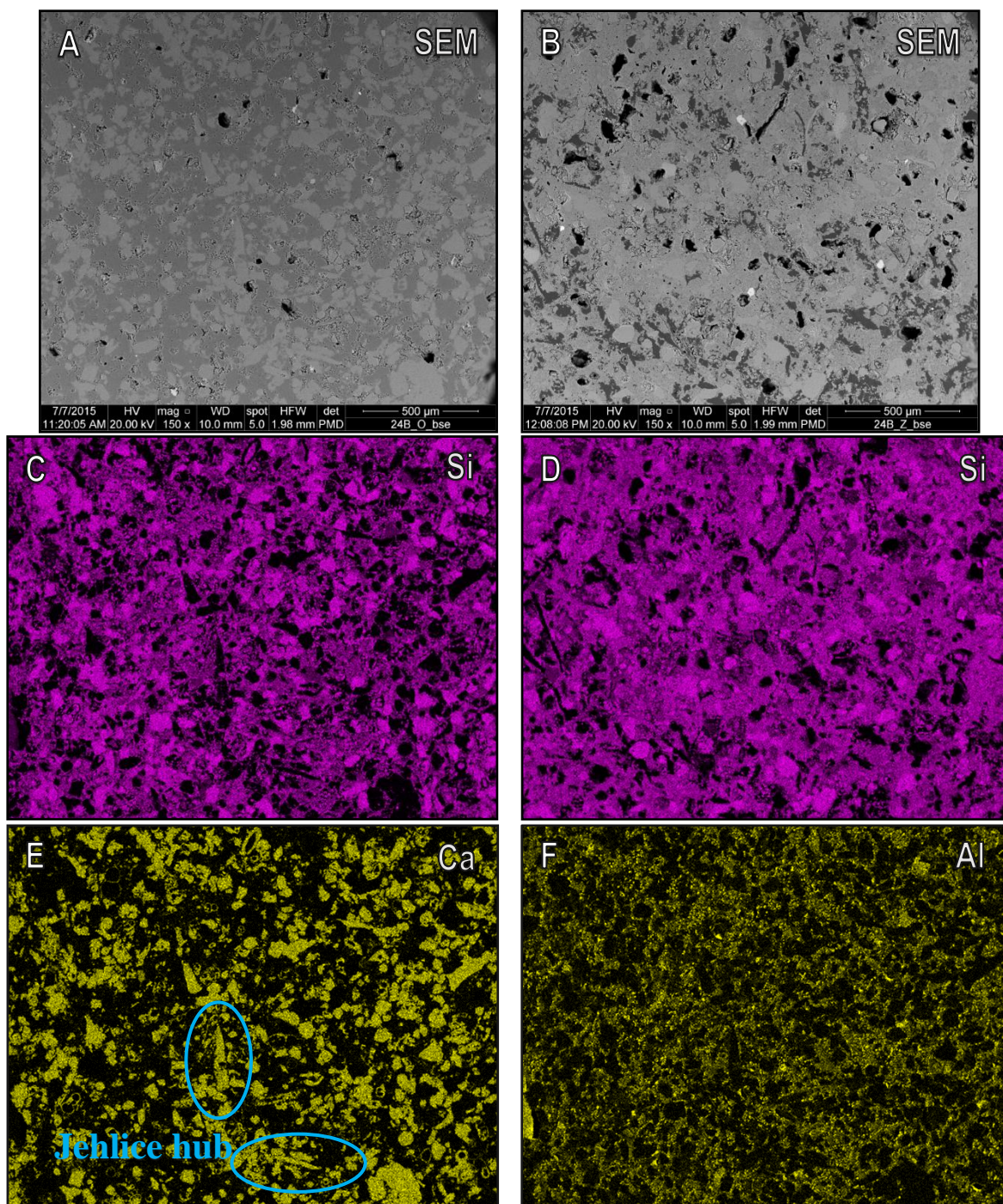
Obr. **E**: Zvýraznění **vápníku** v hornině před loužením (odpovídá Obr. **A**)

Obr. **F**: Zvýraznění **hliníku** v hornině před loužením (odpovídá Obr. **A**)



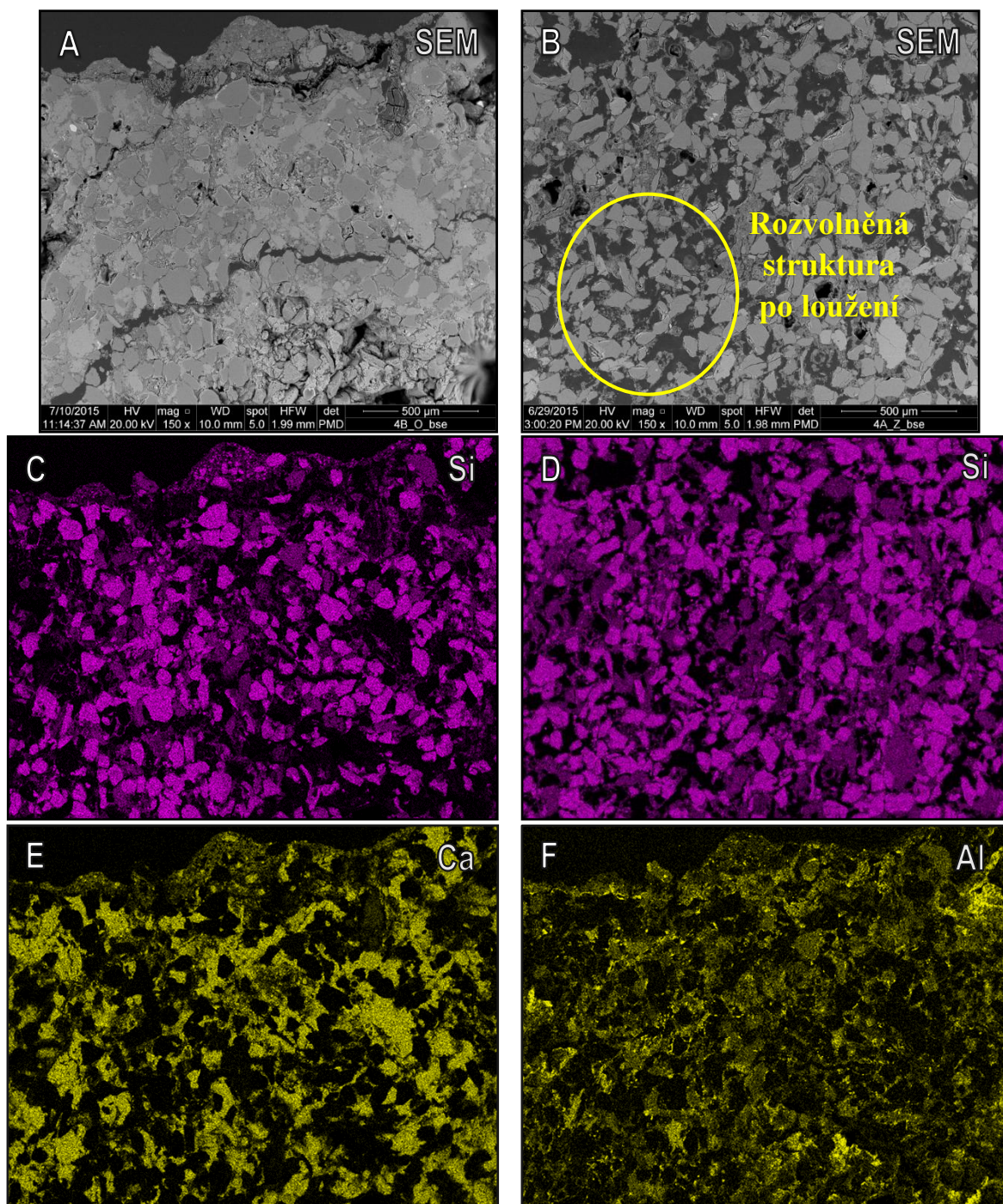
Obr. 4.13: K02B (Kropy): Obs. kalcitu: 13,31 %; ÚR: 2; vápnitý pískovec (micritic sandstone)

Materiál K2B je chemickému zvětrání poměrně odolný, protože obsažený karbonát zde nepůsobí jako tmel, ale je obsažen téměř výhradně v zrnech či malých úlomcích (E), které byly loužením odstraněny (A;B). Jejich ztrátu kompenzuje materiál při namáhání přenosem napětí přes jílové minerály, které jsou v materiálu bohatě zastoupeny (F). Na strukturu křemenných zrn nemělo loužení žádný patrný vliv (C;D). Kromě křemenných zrn tvoří kostru také bohatě zastoupený ortoklas. Materiál je poměrně špatně vytríděný, s příměsí velmi hrubých zrn (C).



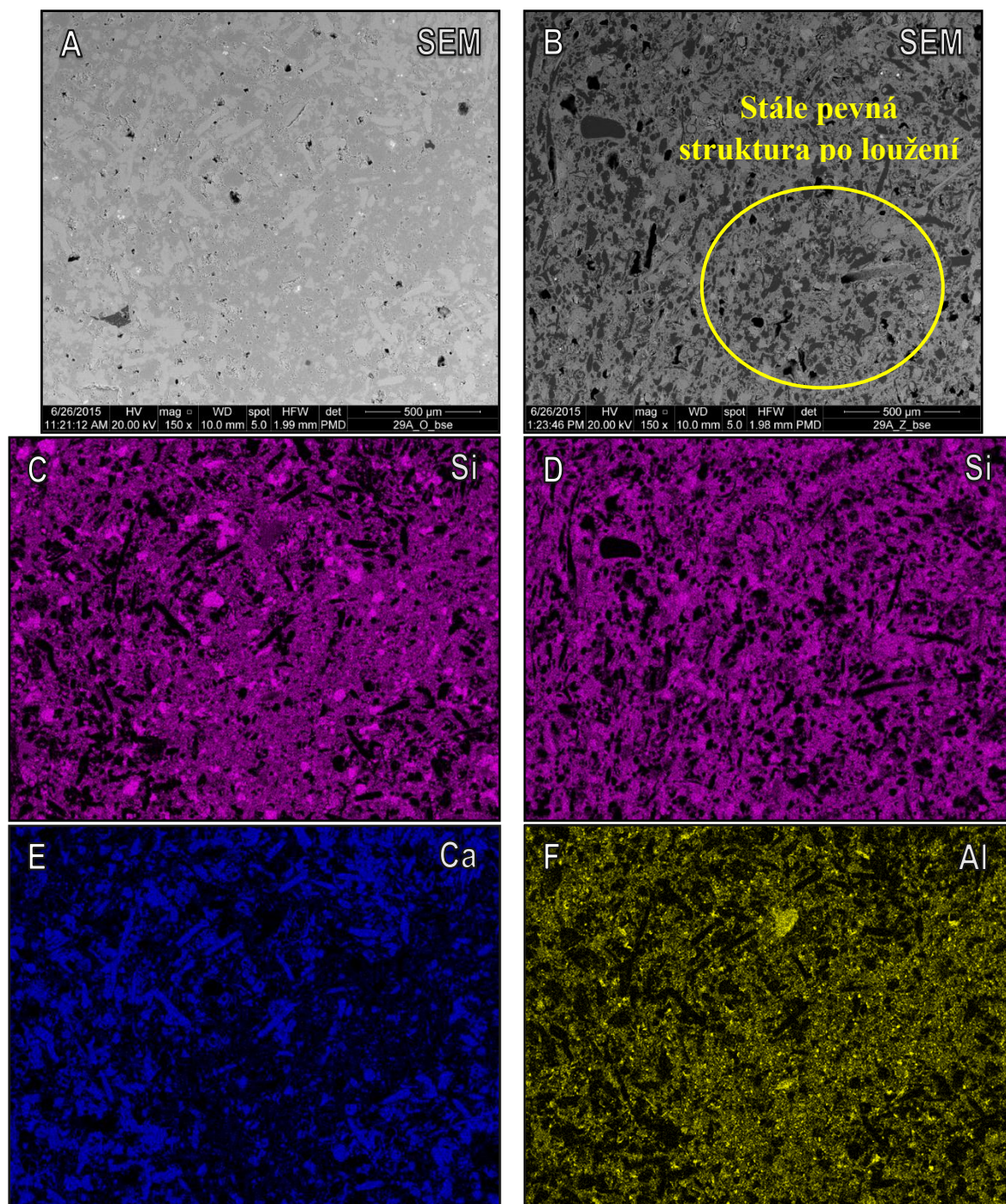
Obr. 4.14: K24G (Litá, Zbytka): Obs. kalcitu: 35,59 %; ÚR: 2; spongolit (allochemic mudrock)

Struktura K24G je velmi posílena rekrystalovaným křemenem (C), jenž se po loužení mohl ještě více „zvýraznit“, protože již není zakryt poměrně bohatě zastoupeným kalcitem (E). Jílové minerály (F) jsou pravděpodobně samy o sobě málo významné pro udržení soudržnosti horniny, ale mohou svým bobtnáním usnadnit erozi jinými způsoby (slaking). Protože obsah kalcitu tvořily především zrnité úlomky schránek a jehlic, nelze očekávat velký nárůst propustnosti horniny po jejich rozpuštění. Nárůst porozity byl přesto značný (o 30 %).



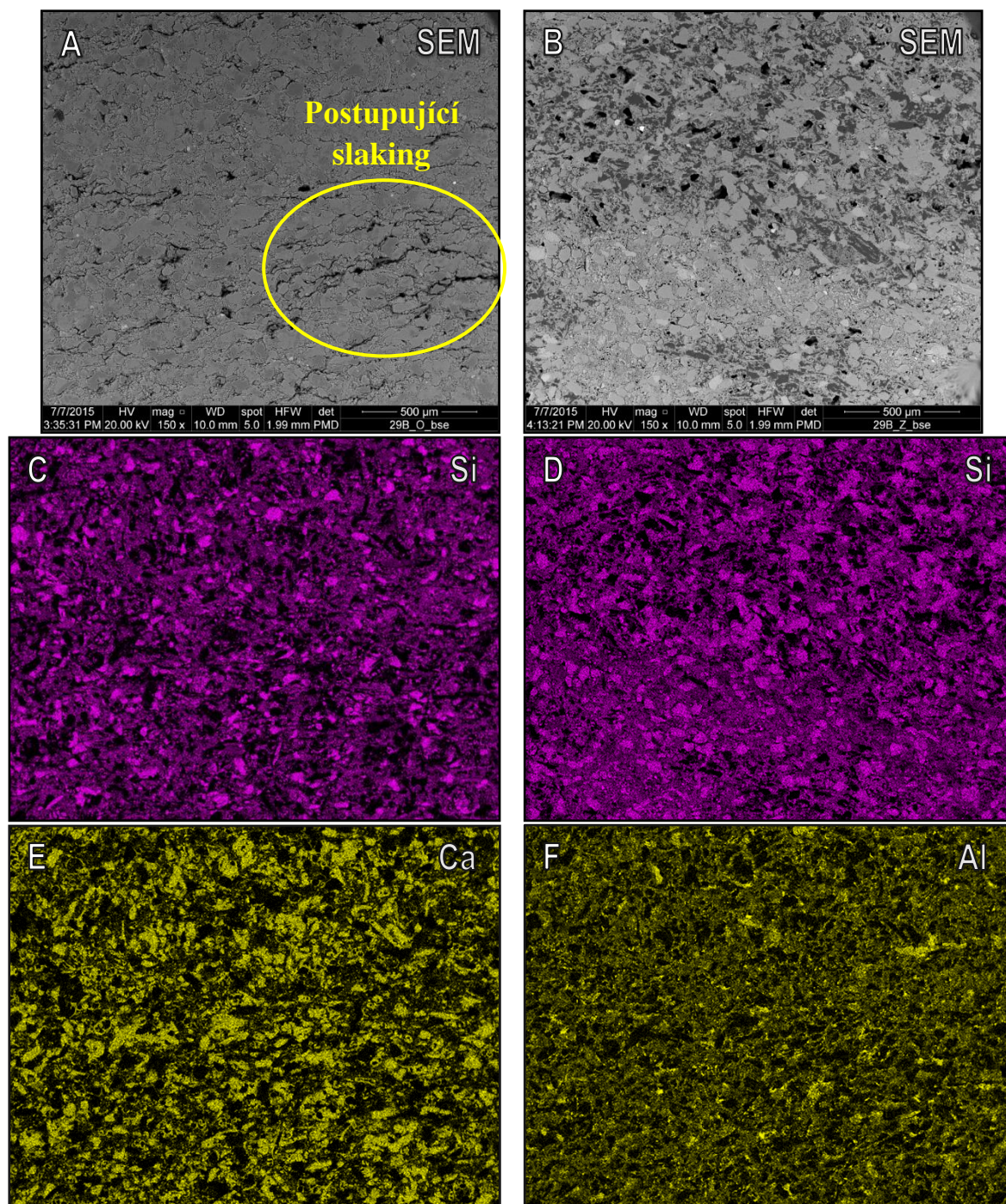
Obr. 4.15: K04B (Sušno): Obs. kalcitu: 49,09 %; ÚR: 4; vápnitý pískovec (sandy micrite)

V K4B je již kalcit zastoupen v takovém množství (E), že je po jeho vyloužení její soudržnost blízko hranice rozpadu. Křemen je v hornině obsažen především v zrnech (C), dále také ortoklas a minerály železa. Zbytkovou soudržnost materiálu po loužení zajišťuje jílový tmel, který spojuje poměrně špatně vytříbená zrna (B;D;F). Pokud by přes malou odolnost vylouženého materiálu v přírodě nedošlo ke zborcení struktury, dá se očekávat velmi vysoká propustnost pro vodu.



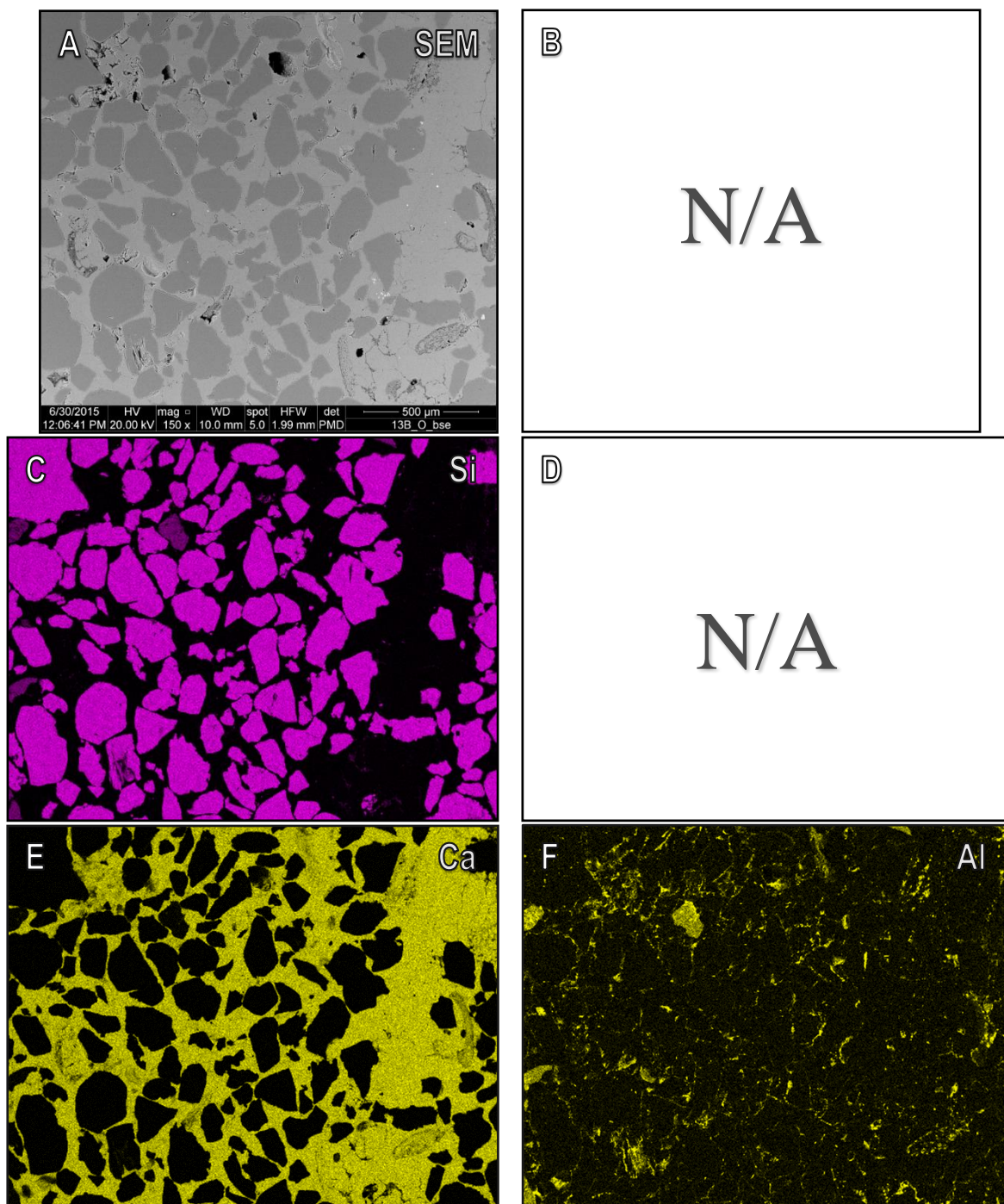
Obr. 4.16: K29A (Choceň, zářez): Obs. kalcitu: 57,23 %; ÚR: 2; spongilit (muddy allochem limestone)

Dvěma vzorkům K29A a B, původně vzdálené pouze několik cm, byla pozornost věnována proto, že se v terénu projevují jinou rychlostí zvětrávání. K29A zvětrává pomaleji, nebo vůbec, a to i přesto, že obsahuje o zhruba 10 % více karbonátů než K29B. Kalcit se zde vyskytuje z velké části jako podlouhlé úlomky jehlic mořských hub (E) nebo schránek živočichů. Pro pevnost horniny to evidentně nemá zásadní význam (B;D), a materiál je dobře spojitý i po loužení, protože je prorostlý rekrystalovaným křemenem spolu s jílovými minerály (C; F).



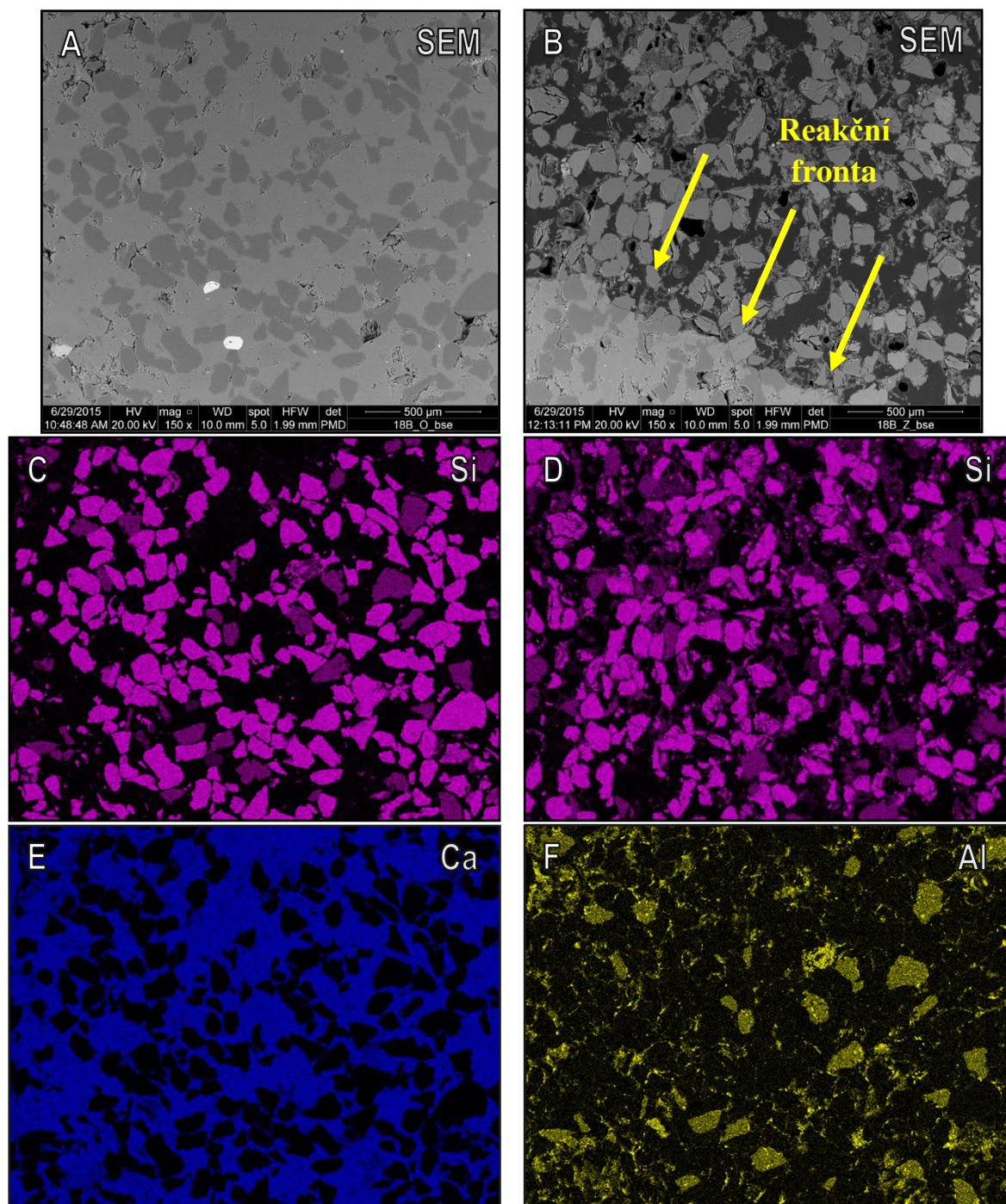
Obr. 4.17: K29B (Choceň, v zářezu): Obs. kalcitu: 47,22 %; ÚR: 3; spongilit? (muddy micrite)

Oproti K29A obsahuje vzorek K29B zdánlivě více kalcitu (E), avšak není tomu tak. Jeho rozložení jako by předchozímu vůbec neodpovídalo. Jehlice hub ustupují v zastoupení jakési špatně vytríděné směsi úlomků. Možné vysvětlení je, že se jedná o bouřkový sediment, nebo produkt nějaké záplavy. Obě horniny však tvoří stejný jemnozrnný klastický materiál včetně úlomků spongií (C; K29A-C). Na snímku (A) je patrná počínající eroze, projevující se krátkými puklinami, která mohla zapříčinit větší rozpadavost loužené horniny oproti K29A.



Obr. 4.18: K13B (Sudoměř, hráz): Obs. kalcitu: 37,18 %; ÚR: 5; vápnitý pískovec (micritic sandstone)

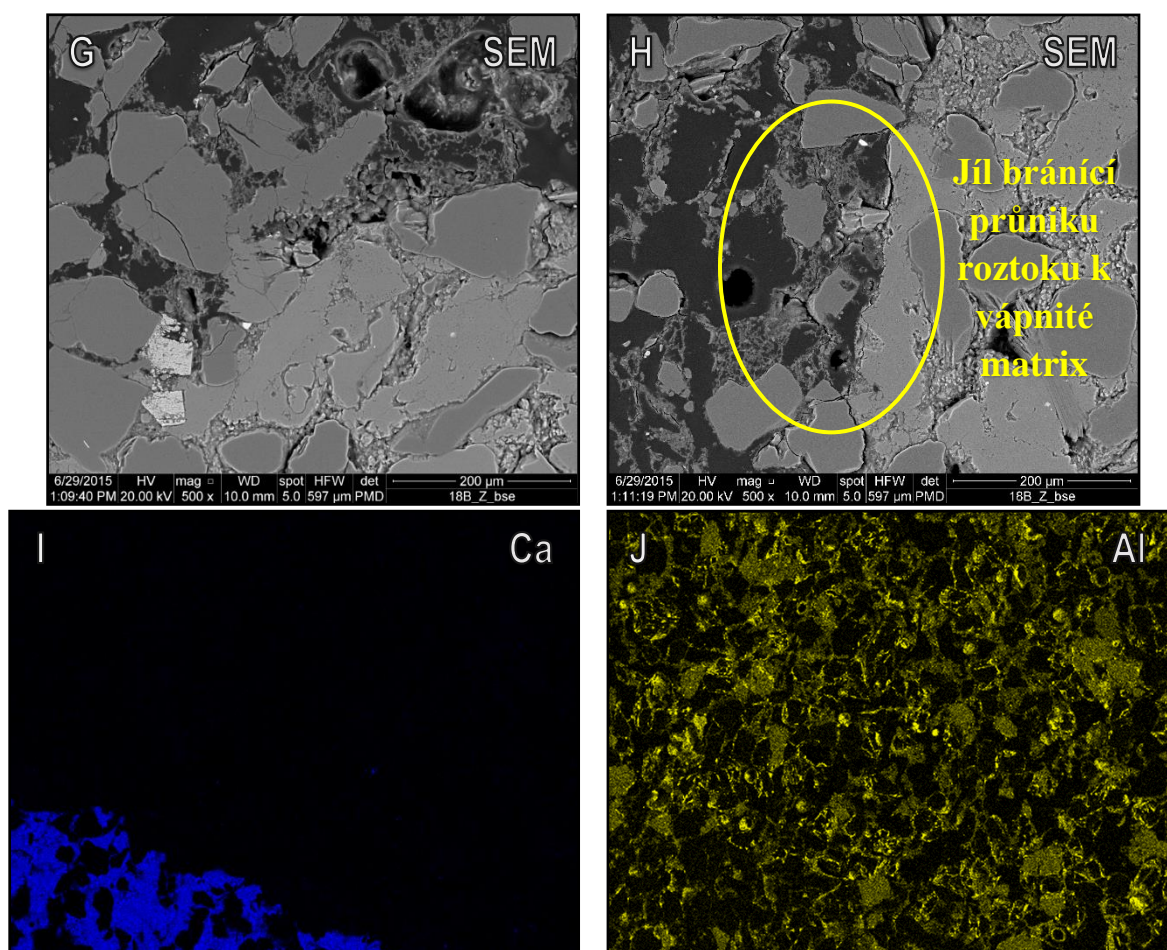
Na příkladu K13B je vidět, že s rostoucí velikostí zrn klesá odolnost hornin vůči kyselému prostředí. Horniny jako vzorek K04 mají obsah karbonátů podobný, jejich soudržnost však může zajistit jílový tmel. Ve vzorku K13B jsou dobře vytříbená zrna křemene a ortoklasu (C) sice často obalena jílovitou hmotou (F), soudržnost horniny však zajišťuje pouze vápnitý tmel (E). Po loužení proto z horniny nezůstává nic než písek.



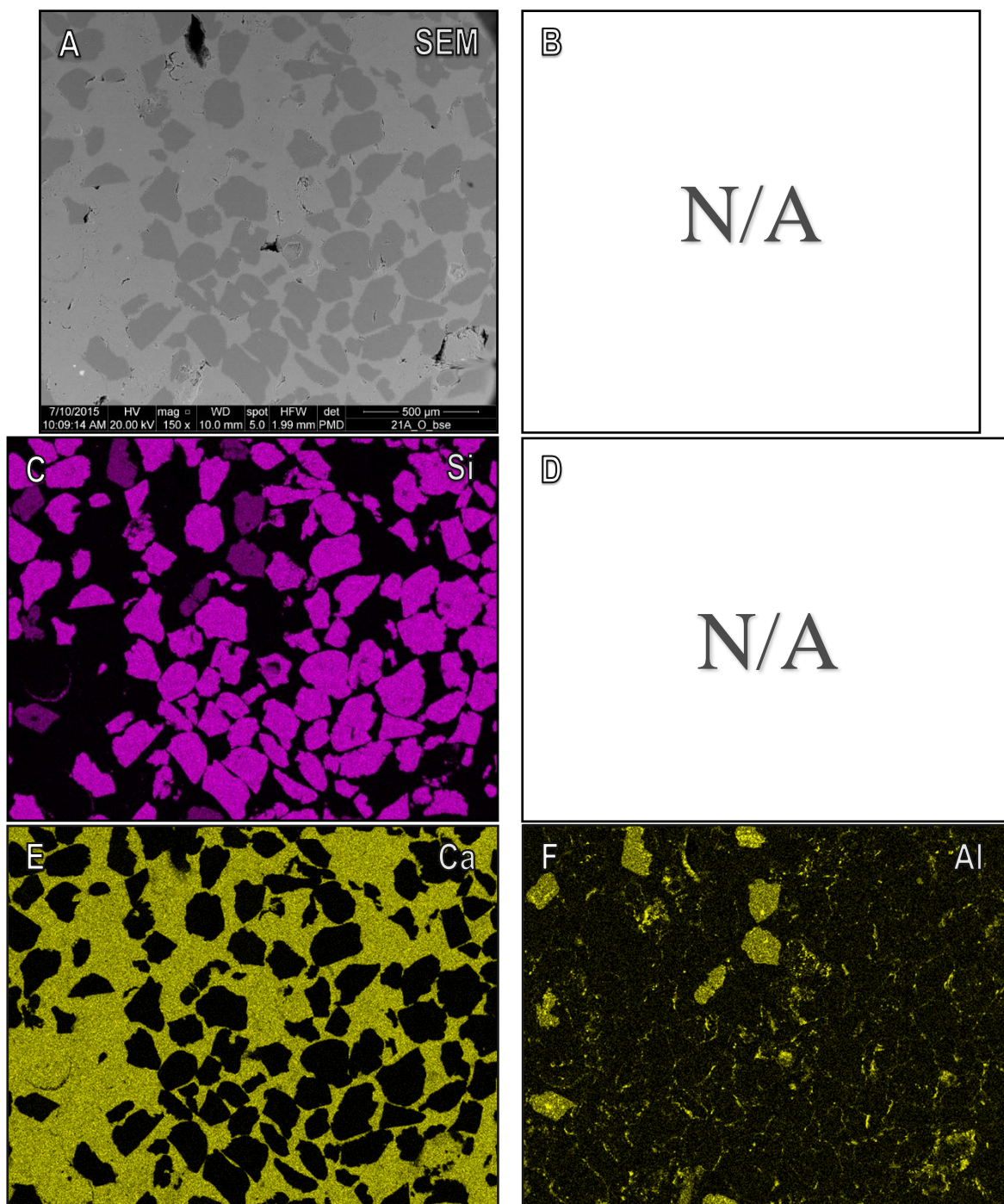
Obr. 4.19: K18B (Rohozec, 2): Obs. kalcitu: 53,14 %; ÚR: 4; písčítý vápenec (sandy micrite)

K18B pravděpodobně ukazuje definitivní hranici obsahu karbonátu, která u hornin bez pokročilé diagenese ještě nemusí znamenat rozpad po loužení. Na snímku (C) je vidět, že jsou mezi zrna často velké mezery, kde se jen občas uplatňuje také jílový tmel (F). Oproti tomu vápnitý tmel (E) vyplňuje prakticky veškerý volný prostor a po jeho odstranění vzniká v hornině extrémní porozita, jež dosahuje hodnot větších než 50 %, u blízkého, sousedního vzorku K17B až 80 %. Tato sada je zvláštní tím, že jako jediná ukazuje reakční frontu (B;D), za kterou se

kyselý roztok již patrně nemohl dostat. U jiných hornin, jejichž propustnost byla i ve vylouženém stavu řádově menší, k pozorování takového jevu nedošlo. Na snímku (D) je demonstrována role křemene, který se v hornině v původním stavu (C) skrýval pod vrstvou vápenného tmelu. Pokud tedy nebyl vzorek ovlivněn při přípravě nábrusu pro focení SEM, kdy došlo k jeho zalití do epoxidu a zpevnění struktury. Tento „nový“ křemen tedy spolu s „novým“ hliníkem (J) představují nově odkryté minerály jílu, které přejaly roli v zachování soudržnosti.

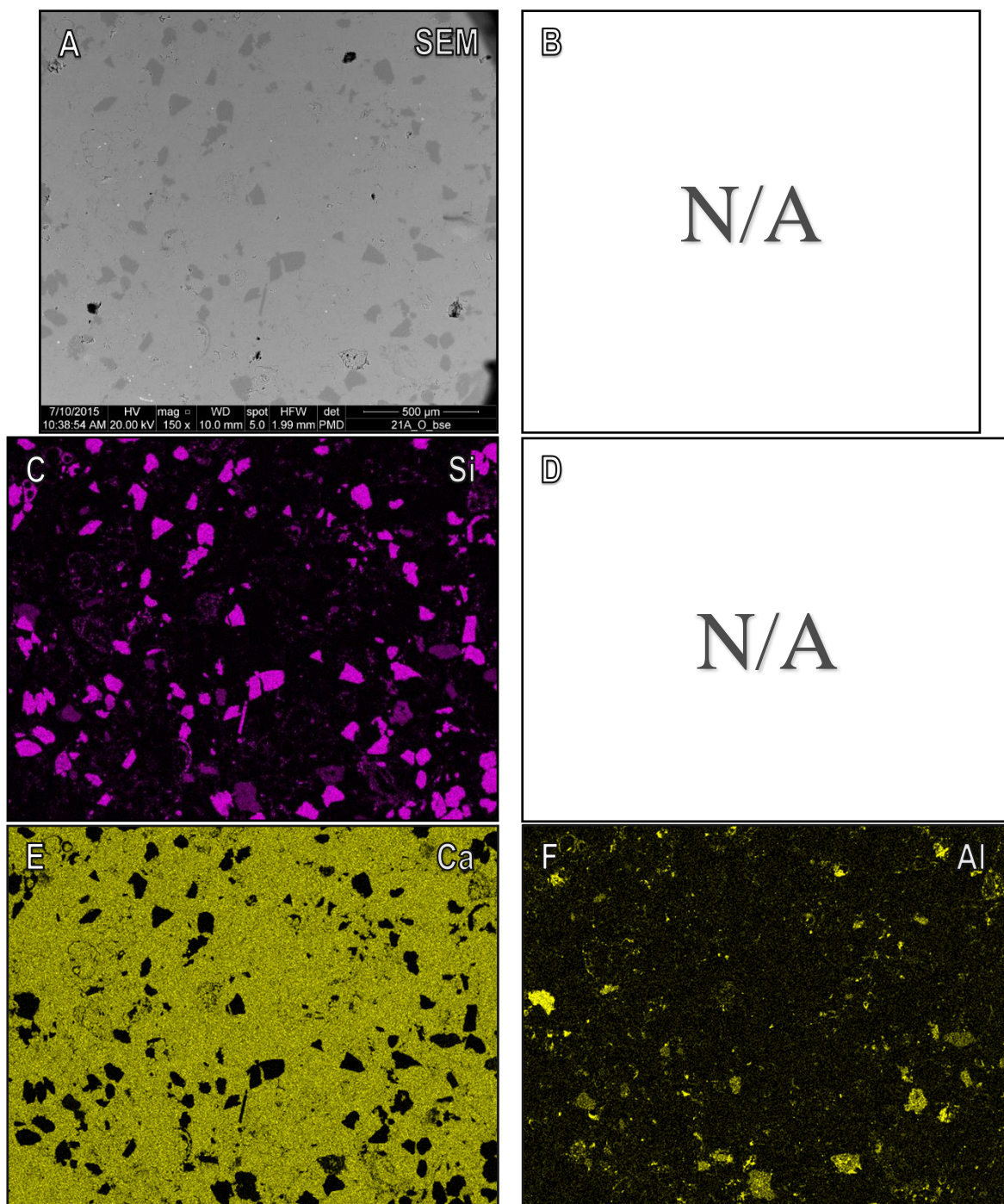


Obr. 4.19 G – J: Na snímcích (G;H) je ve větším detailu při 87,5x zvětšení (na A4) vyobrazena reakční fronta, popsaná výše. Ze snímků je patrné, že jsou to právě jílové minerály, které tvoří „hráz“ proti dalšímu pronikání kyselého roztoku. Za nimi už může být pH roztoku blízké neutrálnímu, čímž se jeho účinnost prakticky eliminuje. Ostrost reakční fronty dokumentuje snímek (I). Je zřejmé, že ve chvíli, kdy kyselina může proniknout v dostatečném množství ke kalcitu, produkty její reakce s CaCO_3 (CaCl ; CO_2) efektivně odchází pryč a nezůstávají v uzavřeninách poblíž reakční fronty. Snímky byly pořízeny po loužení. Na snímcích (I;J) je vyobrazeno stejné místo, jako je na snímcích (B;D).



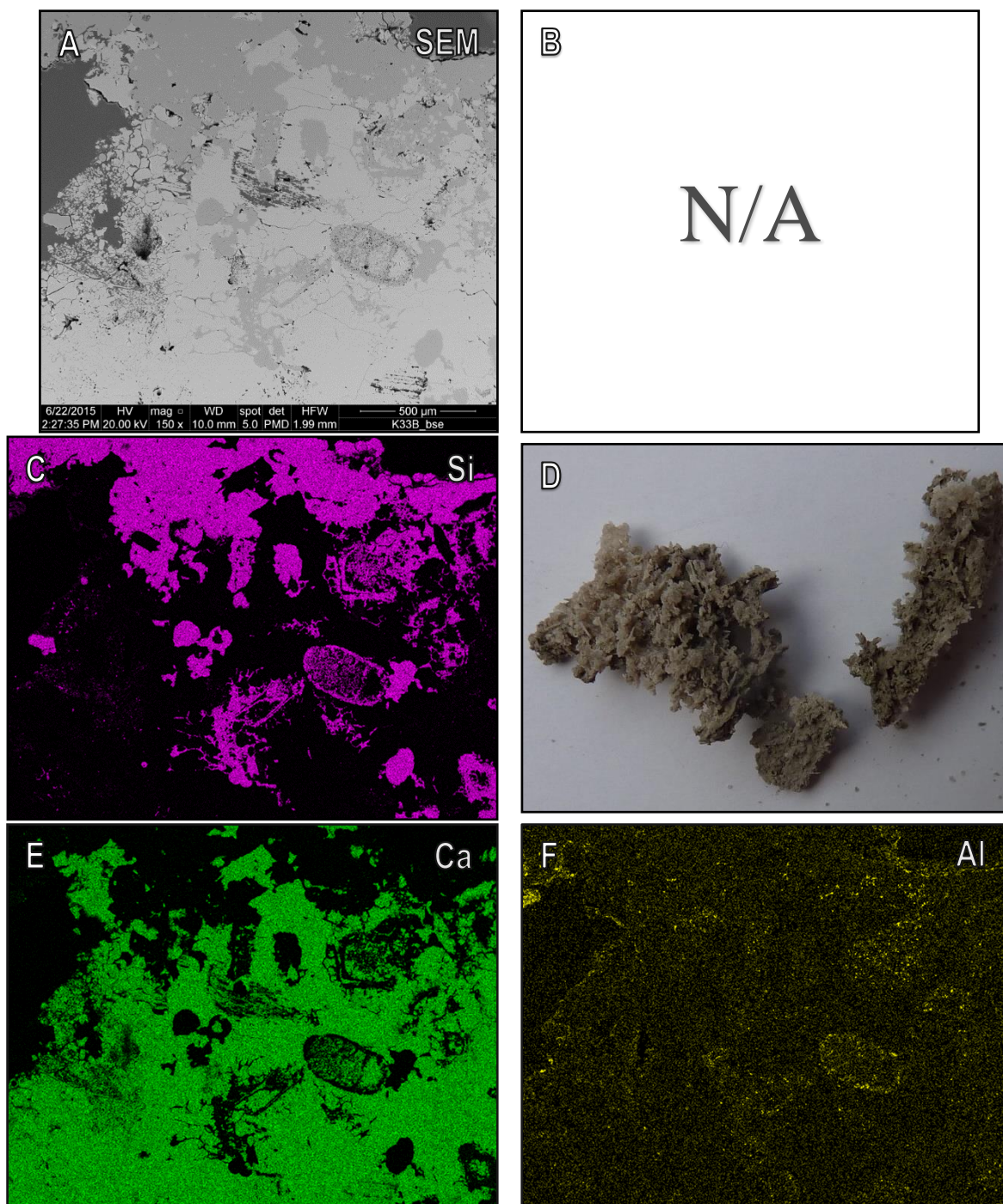
Obr. 4.20: K21A (Podhorčí): Obs. kalcitu: 53,15 %; ÚR: 5; písčitý vápenec (sandy micrite)

Snímky K21A jsou přiloženy z toho důvodu, že obsah karbonátů je zde téměř shodný s předchozím vzorkem (K18B). Distribuce kalcitu (E) je také poměrně podobná, stejně jako přítomnost jílového tmelu (F). Zásadní rozdíl pro soudržnost po loužení tak patrně spočívá v o něco větší velikosti zrn (A;C;E). Jílovité můstky (F) zde mají menší poměrné zastoupení oproti hmotnosti zrn a nedokáží je svojí silou udržet pohromadě. Plynné produkty (CO_2) reakce HCl s CaCO_3 tak mohou zbylý materiál roztrhat, stejně jako např. vodní eroze.



Obr. 4.21: K27A (Choceň, V nad zářezem): Obs. kalcitu: 78,15 %; ÚR: 5; písčité (prachový) vápenec (muddy micrite)

Snímky K27A jsou přiloženy jako příklad horniny, jejíž klastická složka (C) bez kontaktu „plave“ v převažující karbonátové matrix (E). Jílová složka (F) má zanedbatelný efekt na soudržnost. V tomto případě již nemůže být pochyb, že se při vystavení atmosférickým vlivům bude materiál chovat podobně jako vápenec a že jeho vrstvy budou v příhodných podmínkách podporovat tvorbu krasu.



Obr. 4.22: K33B (Pod Hlavňovem): Obsah kalcitu: N/A; ÚR: N/A; Ca/Si konkrece

Jako doplnění je zde vyobrazen detail vzorku K33B, jehož materiál tvoří výše popisované „sloupky“ na Broumovsku. Jak je zřejmé ze snímků (C; E), je tvořen z velké části vysoce čistým kalcitem, který je prorostlý rekrytalovaným křemenem. Další prvky jsou zastoupeny spíše akcesoricky (F). Na vzorku K33A, pocházející ze stejné konkrece, jsem stanovil obsah RS: 89 % a ÚR: 5. Kyselina vypreparovala úlomky křemičitých výrostků, jenž jsou zobrazeny na snímku (D, foto: autor).

4.4 Zhodnocení lokalit na základě odebraných vzorků

V této kapitole jsou uváděny obsahy RS, (respektive hodnoty kalcimetrie, pokud byly k dispozici) a zhodnocení rozpadu vzorků s ohledem k jednotlivým lokalitám. Pokud se jeví jako významné, jsou uvedeny i některé hodnoty porozity. Na každé lokalitě je uvedena představa toho, jak se horninové prostředí chová, nebo může chovat ve spojitosti s prouděním vody a rozpouštěním obsažených karbonátů. Upřesnění lokalizace a míst odběru vzorků je uvedeno v příloze 8.1.

4.4.1 Mělnicko a Mladoboleslavsko

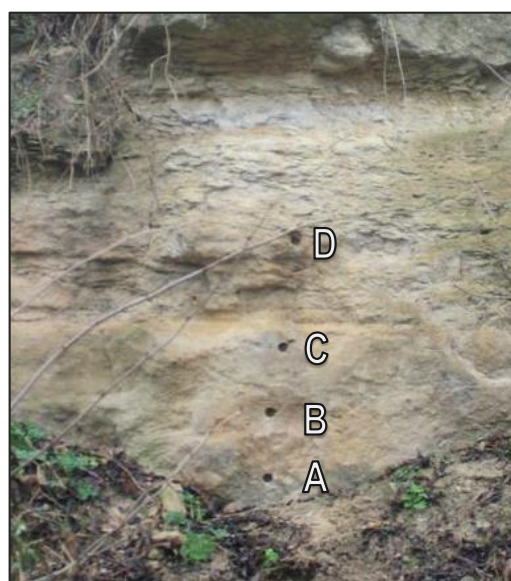
Všechny lokality v této oblasti reprezentují horniny hlavního křídového kolektoru v jizerském souvrství.

K1: Střížovice. Pískovec, který tvoří výchoz, je zde jednotný a nic nenasvědčuje tomu, že bych vzorkování minulo nějakou kalcitem bohatší vrstvou. Vyhodnocený vzorek obsahoval 12 % kalcitu a po loužení lehce ztratil pevnost. Podle toho lze předpokládat, že vznik pramene zde byl vázán na jiný fenomén, než je ztráta karbonátového tmelu. V úrovni nejširšího místa dutiny s pramenem je viditelná horizontální puklina, na níž mohl pramen započít a s postupem času si rozšířil puklinu na nepříliš hlubokou dutinku.



Obr. 4.23: K1: Pramen z výchozu ve Střížovicích. Foto: Jiří Bruthans

K2: Krpy: Analýzou malého profilu je možné se přesvědčit, jak moc mohou být hranice karbonátových vrstev ostré a jak prudce se obsah karbonátu v profilu mění. Zatímco pískovcová jádra B – D byla vzájemně velmi podobná, s průměrným obsahem karbonátů 13 % a malou ztrátou pevnosti po loužení, jádro A obsahovalo 70 % kalcitu (písčítý vápenec) a loužením se beze zbytku rozpadlo. Profil rámcově reprezentuje přibližně 100 m vzdálený pramen s vydatností okolo 50l/s vyvěrající v bývalém mlýně, který se však nachází asi o 3-5 m



Obr. 4.24: K2: Výchoz v Krpech. Foto: Jiří Bruthans

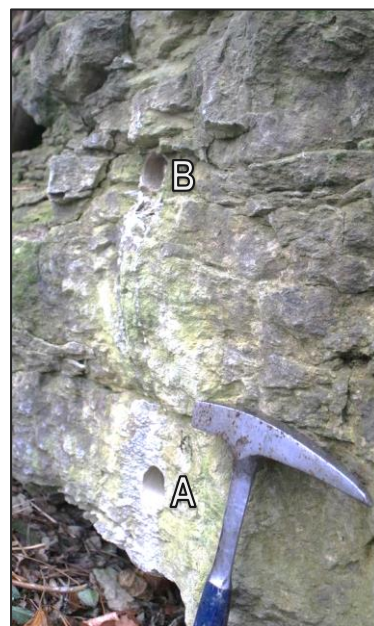
níže po svislici. Za předpokladu, že níže v profilu se nachází vrstva se stejným obsahem karbonátu jako vrstva A, je možné se domnívat, že krasovění by mohlo být zodpovědné za rozšiřování porozity.

K3: Kropáčova Vrutice. Dvě jádra, odebraná z 80 cm vysokého profilu, se téměř nelišila. Obě jádra obsahují průměrně 41 % kalcitu, což dostačuje k tomu, aby loužením podléhaly slabému až střednímu rozpadu. Podle reliéfu povrchu okolní skály by mohly být vyloužené horniny při povrchu ničeny dalšími formami eroze. Profil se nachází 5-10 m vertikálně nad úrovní pramene s vydatností několika desítek l/s.

Kropáčova Vrutice je známá svými vydatnými prameny, z nichž byly některé v minulosti zjišťovány pro vodárenské účely (např. Krásný et al., 2012). Pokud tvoří vrstvy podobné horniny plošně rozsáhlá tělesa, může v jejich tektonicky porušených místech docházet s pomocí proudění vody v puklinách k rozpadu loužením narušeného pískovce.

K4: Sušno. Na místě, které se nachází asi 2 km od předchozí lokality a v mírně vyšší nadmořské výšce, se nachází horniny prakticky stejného složení, jako v Kropáčově Vrutici. Výchoz je i na pohled velmi podobný, malý, ve svahu převážně zakrytý eluviem. Jádra obsahovala 36 a 49 % kalcitu a podléhají slabému až střednímu rozpadu. Poslední dvě lokality dokládají plošně rozsáhlou vrstvu poměrně vápnitých a rozpadavých pískovcových hornin. Údolí Košáteckého potoka je v tomto místě trvale suché a veškerá voda se stačí vsakovat do podložních hornin.

K5 a K6: Zahájí u Řepínského Dolu. Zde odebrané horniny mají velmi nízký obsah karbonátů podle jediného analyzovaného vzorku K6A (0 % RS). Lze je tedy podle makroskopického pozorování i obsahu RS řadit k velmi čistým, kvádrovým pískovcům. Porozita měřena nebyla. K rozpadu loužením nedocházelo a tak není možné, aby voda rozpouštěním horniny zvětšovala své kanálky v puklinách. V úvahu připadají způsoby eroze známé z jiných lokalit s kvádrovými pískovci (Bruthans et al., 2013). Tato lokalita však žádné známky usměrněného toku nejevila. Pískovec je patrně velmi dobře propustný, a tak se srážková voda rychle vsakuje.

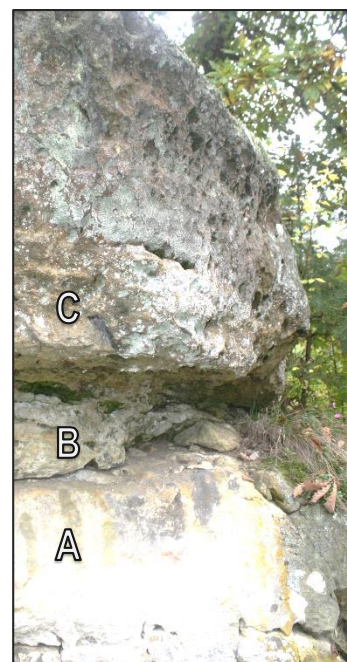


Obr. 4.25: K4: Výchoz v Sušnu. Foto: Jiří Bruthans

K7: Lom pod Mšenem. Analýza byla provedena na vzorku K7C, který obsahoval 23 % RS, a stejně jako další dva vzorky, jež nebyly analyzovány, obsahoval makroskopicky viditelné až několik centimetrů velké úlomky schránek mlžů. Jedná se spíše o pískovec s příměsí schránek, než o horninu s vápnitým tmelem. K7A a B byla v původním stavu velmi málo soudržné, K7C představuje zpevněnou vrstvu, která je tvořena málo pevným pískovcem (stejným, jako u vzorků A, B) s vložkami mnohem pevnějších, alespoň několik cm velkých pískovcových vrstviček či zón, jež jsou loužením mnohem méně postižené. Vzorek se rozpadal slabě až středně. Díky malé soudržnosti v původním stavu, která však může být způsobena vystavením horniny atmosférickým vlivům, by mohlo docházet k rozšiřování puklin proudící vodou. Výchoz však žádné známky usměrnění tekoucí vody nejeví.

K9 a K10: Sudoměř: Zvolené návrty u západně od Sudoměře zastihly většinou střednězrnné kvádrové pískovce. Až na konkraci K10C (25 % kalcitu) obsahovaly ostatní vzorky pískovce 0 % RS. Protože konkrece nebývají vzájemně tak propojené, aby mohly tvořit při rozpadu kanálky pro proudící vodu, je nepravděpodobné, aby vyloužením karbonátového tmelu z konkrecí vznikl kontinuální kanál s výrazně vyšší propustností, než měla původní hornina. Struktura materiálu konkrecí je zde i po loužení téměř stejně pevná, jako je u okolního pískovce. Může obsahovat rekrystalovaný kalcit i křemen, který její materiál zpevňuje.

K12 a K13: Sudoměř, přehrada. O zhruba 50 výškových metrů níže oproti K10, asi 2 m nad hladinou nádrže se nachází podobné střednězrnné pískovce, ovšem již značně obarvené oxidy železa. Většina odebraných jader z obou etází obsahovala průměrně 0,6 % kalcitu a na loužení nereagovala. Vzorek K13B však zastihl asi 30 cm vrstvu vápnitého pískovce, který obsahuje 37 % kalcitu a loužením se beze zbytku rozpadá. Stejná vrstva se nachází i ve výchozu o 30 m dále od nádrže. Erozivita horniny je viditelná i na výchozu, kde je hornina při povrchu více rozložená a vrstva je v profilu asi o 0,5 m více zahlobená oproti nadloží a podloží, tvořeném kvádrovými pískovci. Na karbonáty bohatá vrstva leží přibližně na úrovni současné hladiny nádrže, jejíž hladina nedosahuje vybudovaného přepadu na hrázi. Nádrž údajně není možné napustit na plnou úroveň, protože okolní horniny jsou příliš propustné (P. Nakládal, úst. sděl.). K utěsnění byly



Obr. 4.26: K13: Výchoz u hráze u Sudoměře. Foto: Jiří Bruthans

problémové pukliny vyplněny jílem kolem celé nádrže a pod úrovní hladiny a až 1 m nad úrovní

hladiny byl celý povrch pokryt cementovou směsí (<http://prehradasudomer.cz>, 2015). Je otázkou, zda se na úniku vody z nádrže více podílejí četné až 1 m široké pukliny v kvádrových pískovcích, litologií odpovídající vzorku K12, nebo kanálky vzniklé rozpouštěním vápenného tmelu představované vzorkem K13B. Vznik rozsedinových puklin mohl být v době vzniku vázaný na rychleji erodující vápnitou vrstvu a k jejich vyklízení docházet podle schématu, který uvádí Bruthans et al. (2013).

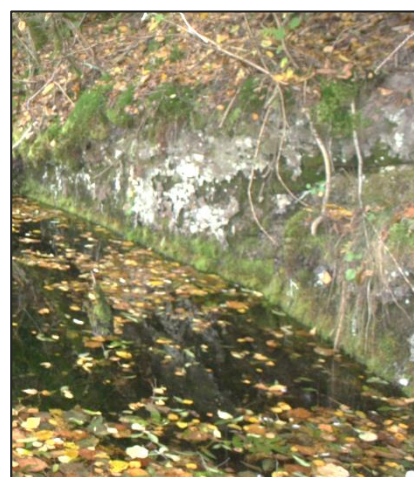
K14: Sudoměř, pramen. Tato lokalita na příkladu ukazuje, jak zdánlivě nelogicky se může chovat voda protékající pískovcem rozevřenými puklinami. Malý pramen s průtokem méně než 0,1 l/s vytéká z pukliny v kvádrových pískovcích rozevřené až na 15 cm, jen aby se o několik metrů dál znovu ztratil z jiné strany do ponoru ve stejném svahu. Po několika metrech znovu vyvěrá na povrch z další pukliny, rozšířené natolik, že je průchozí do hloubky několika metrů. Povrch pískovce zde nejeví žádné známky eroze prouděním vody ani rozpouštěním.



Obr. 4.27: K14: Pramen u Sudoměře.
Foto: Jiří Bruthans

Odebrané vzorky rezavě zbarveného pískovce působí pevně, téměř se nedrolí. Loužení na jeho pevnost nemělo žádný vliv a kalcimetrie naměřila u vzorku K14A 0,2 % kalcitu.

K15 a K16 Podkováň, prameny: Oba prameny vyvěrají odspoda pod hladinou vody a tak není možné si prohlédnout místo, odkud voda do malé nádržky přitéká. Nelze vyloučit vývěry po zlomových či puklinových plochách z podloží. Zde i jinde v okolí jsou přírodní úkazy, popisovaná jako „vývařiště“, kam voda přitéká kolmo vzhůru a tím čerá sediment u dna, čímž připomíná vařící se vodu v hrnci. Vzorky nepříliš soudržných, patrně dosti zvětralých kvádrových pískovců K16A a K15A, obsahovaly průměrně 1 % kalcitu. Rozšiřování puklin jejich rozpouštění zde proto nepřipadá v úvahu. Voda však může vzorkovanou vrstvu obtékat spodem po jiné, vápnatější vrstvě.



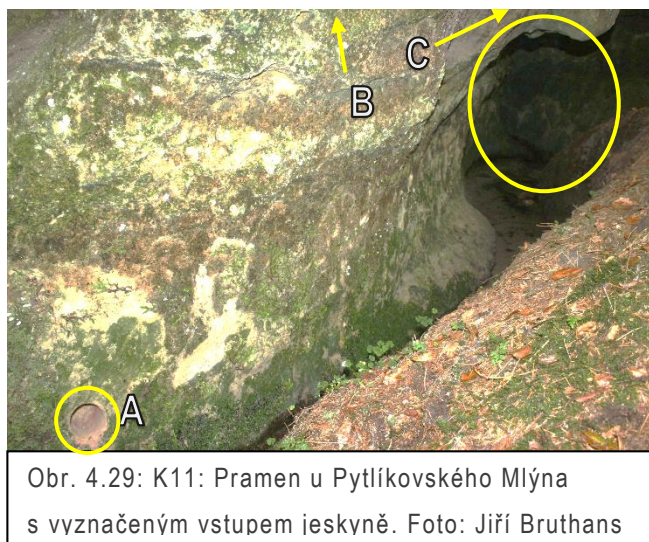
Obr. 4.28: K16: Pramen u Podkováňe. Foto: Jiří Bruthans

K42: Dubá: Jediný vzorek z této lokality reprezentuje několik metrů mocnou vrstvu zvětralého vápnatého pískovce odkrytého ve výkopu pro stavbu silničního mostu obchvatu obce Dubá. Podobné horniny zde v širokém okolí tvoří nadloží kvádrových pískovců, ale nevystupují vesměs na povrch ve výchozech. Jinde jsou patrné pouze jako úlomky v polích a byly využívány jako stavební materiál. Hornina obsahuje 32 % RS a po loužení lehce ztrácí původní pevnost, ale nerozpadá se. Odvápnění zde pravděpodobně přispívá k její erozi méně, a proto ji musí způsobovat ještě i jiné procesy.

4.4.2 Turnovsko

Lokality v této oblasti reprezentují nejvyšší část hlavního křídového kolektoru v jizerském souvrství a spodní část izolátoru bělohorského souvrství.

K11: Pytlíkovský Mlýn: Tato lokalita je zajímavá přítomností malé, až 3 m dlouhé jeskyně, ze které vytéká pramen o vydatnosti asi 1 l/s. V samotné jeskyni se nachází alespoň tři pukliny, z nichž voda vytéká. Na povrchu pískovce se sráží slabé vrstvy karbonátového sintru. Samotné pukliny nejeví známky rozšiřování tekoucí vodou. Zvodnělé pukliny se nachází v pevnější pískovcové vrstvě, která před ústím jeskyně vyčnívá



Obr. 4.29: K11: Pramen u Pytlíkovského Mlýna s vyznačeným vstupem jeskyně. Foto: Jiří Bruthans

z výchozu. Tu vzorkuje jádro K11C, které obsahovalo 22 % kalcitu a středně se rozpadalo. Vzorek je složen z pevných, nerozpadavých objektů, spojených rozpadavým, rezavějším pískovcem. Voda tak může využívat těchto spojů k nepatrnému rozšíření původních puklin. Další jádro K11A ověřilo obsah kalcitu v přirozeně se rozpadajícím vzorku při povrchu a pevnějším vzorku z hloubky 16 cm. Oba vzorky jej však mají prakticky stejný: 1,3 %. Eroze při povrchu mohla být spíše než korozí způsobena např. mrazem. Pro určení, do jaké míry se zde může rozpouštění karbonátového tmelu podílet na rozšiřování porozity, je třeba odebrat další vzorky.

K37: Úlomek z boku krátké bezejmenné jeskyně pod jeskyní Šálení Smyslů. Ve svahu Vazoveckého potoka za osadou Borek byly v nedávné době objeveny dvě jeskyně. Menší z nich se nachází asi 3 m nad úrovní toku. Jeskyně je dlouhá asi 3 m a ukončená závalem a komínem ve stropu. Ze stěny poblíž stropu jeskyně byl asi 2 m od vchodu odebrán vzorek K37A. Vápnlitý pískovec obsahoval 46 % RS, avšak došlo u něj pouze ke slabému rozpadu. Odvápňený před odebráním významně nebyl ($n_1 = 7\%$).

Obr. 4.30: K37: Vstup do jeskyně. Foto: Jiří Bruthans



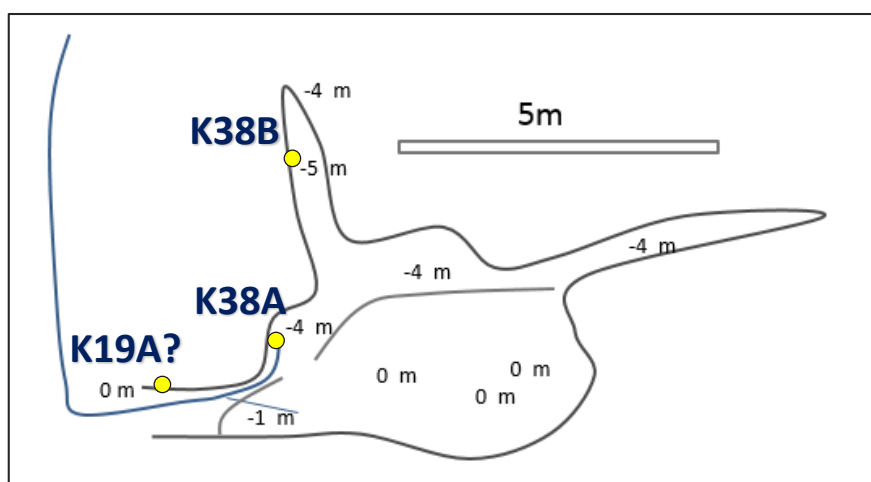
K19 a K38: Jeskyně Šálení Smyslů. Tuto jeskyni objevili liberečtí jeskyňáři v létě 2014 a je proto dosud v podstatě v přírodním stavu. Vzorek K19 byl získán z rozebraného materiálu ze závalu z jeskyně a obsahoval 40 % kalcitu. Jeho předchozí zvětrání a významnější odvápňení mohu vyloučit na základě jeho pouze 6% původní porozity. Protože u něj však nastal úplný rozpad loužením, je možné vrstvu tvořenou blízkými horninami uvažovat jako krasovějící. Tomu by odpovídal i vnitřek jeskyně, který je při stropu hladký a na spodku pokrytý vrstvou jemného písčitého sedimentu. Většina materiálu jeskyně se uvolňuje od stropu a zaplňuje prostor, který je krasověním v hloubce uvolňován. Na rozdíl od jeskyní vytvořených svahovými pohyby (K31) zde nejsou viditelné rozsedlinové pukliny ani jiné známky odtrhnutí a posunu svahu.

Další odebrané vzorky pocházely z různých zvětralých úlomků, jež se nacházely v různých částech jeskyně (viz Obr. 4.32), tedy i v různé výšce. Další dvě jádra pochází ze dvou silně zvětralých úlomků v různém stadiu odvápňení. K38A pochází z bločku, který vyplňoval subvertikální puklinu označenou na Obr. 4.31. Protože obsahoval pouze 0,9 % RS a měl značnou porozitu ($n = 26\%$), soudím, že byl v minulosti



z ponoru protéká hlouběji do Jeskyně šálení Smyslů. Foto: Jiří Bruthans

úplně odvápněn. Úlomky tvořené tímto materiálem jsou lámavé rukou. Loužením proto už nedošlo k dalšímu rozpadu. Druhé zvětralé jádro K38B se nacházelo přímo v místě, kudy v současnosti protéká voda. Vzorek ještě nebyl úplně odvápněný, obsahoval 19 % RS a loužením se slabě rozpadal. Jeho porozita po loužení byla blízká vzorku K38B ($n_2 = 30\%$). Na základě Obr. 4.9 lze předpokládat, že hornina původně obsahovala asi 25 % RS. Je zřejmé, že si jsou tyto dva vzorky vzájemně blízké, ovšem vzorku K19A, který byl odebrán asi o 30 m vertikálně níže, jsou poměrně vzdálené. Distribuce materiálu různého chemického složení pravděpodobně stojí za tím, jaký tvar v současnosti jeskyně Šálení smyslů má. Protože se v prostoru jeskyně nachází většina materiálu ve zvětralém, ale soudržném stavu, je pravděpodobné, že odvápnění předchází jejich rozpadu. Ten je způsoben dalšími faktory jako proudění vody nebo odtrhy materiálu od stropu jeskyně.



Obr. 4.32: Náskres Jeskyně Šálení Smyslů. Upraveno podle náskresu J. Bruthanse

K20: Ondříkovice ponor: Studováno bylo složení bloků horniny vynesných z 3 m hluboké vykopané šachty na ponoru, která zastihla ponor drobného toku v pastvinách. Šachta byla vykopána libereckými jeskyňáři mezi lety 2000-2010. Hornina obsahuje 58 % kalcitu a loužením se středně až úplně rozpadá. Vzorek K20A nebyl testován přesně podle metodiky (viz. Kap. 5.1), ale výsledek měření je odpovídající. Ve vrstvách horniny, kterou vzorek představuje, na původní puklině již při stálém přísunu povrchové vody (asi 1 l/s) pravděpodobně existuje rozpouštěním rozšířená cesta proudění vody. Stopovací zkoušky již dříve odhalily spojitost ponoru s Pivovarskými prameny (Mikuš, Bruthans, 2011). Stopovači trvalo pouhých 50 minut, než se objevil v prameni vzdáleném necelých 300 m vzdušnou čarou. Na základě toho lze podzemní prostor považovat za poměrně přímou vodní cestu. Stopovací zkouška však dále naznačuje, že by mohla voda z ponoru pramenit i na jiných místech, které nebyly sledovány (11% návratnost stopovače).

K21: Poloslepé údolí Podhorčí. Lokalita je ponorem vod v obdobích po tání sněhu či vydatných deštích, kdy se zde ztrácí až desítky l/s. (Bruthans et al., 2001). Vzorek, který byl odebrán z jediného přístupného výchozu - malého výčnělku u dna rýhy (Obr. 4.33), obsahoval 53 % kalcitu a loužením se beze zbytku rozpadal. Takový výsledek potvrzuje, že místní horniny značnou měrou podporují tvorbu krasu.

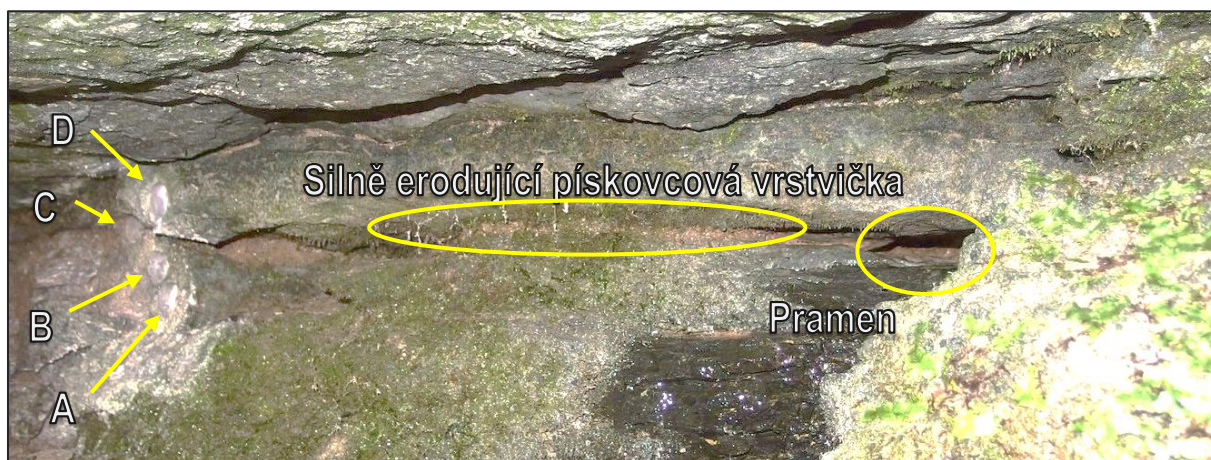


Obr. 4.33: K21: stěna uzavírající údolí a místo odběru vzorku. Foto: Jiří Bruthans

K22: Bartošova pec. Vývěr, který směřuje vodu do Vazoveckého potoka, získává vodu z Podhorčí a závrťů v Roudném (Bruthans et al., 2001). Za krátkým rozšířením u vstupu, které po několika metrech končí, se nachází rozsáhlý jeskynní systém tvořený nízkými chodbami a dómkami na křížení puklin. Několik odebraných vzorků však neukazuje, že by na současné úrovni vstupu jeskyně (nad úrovní hladiny vody, kde jediné je možné odebírat vzorky) mohlo docházet ke krasování hornin. Vzorek K22B obsahoval 29 % kalcitu a podobně jako K22C (31 %) se pouze slabě rozpadal po loužení. Jádra byla zvětráváním nezasažená, původní

porozita K22C byla jen 4 %. Vzorek K22D ze stropu jeskyně obsahoval 21 % kalcitu. Vstupní chodba jeskyně Bartošova pec je ale zjevně rozšířená uměle, nese dobře patrné stopy po tesání (J. Bruthans, úst. sděl.). Před jeskyní je rybníček napájející v minulosti mlýn, díky kterému může být hladina v jeskyni uměle zvýšená až o několik metrů. Je otázkou jak hluboko se nachází původní kanál v jeskyni. Je tedy pravděpodobné, že krasovějící vrstva s výrazně vyšším obsahem karbonátu se nachází o několik metrů hlouběji a horniny v současnosti odhalené v jsou jen oříceným stropem. Jejich odpadáváním od stropu a sedimentací na její bázi se volný prostor jeskyně mohl posunout výše, do hornin s nízkým obsahem karbonátů, které se loužením nerozpadají.

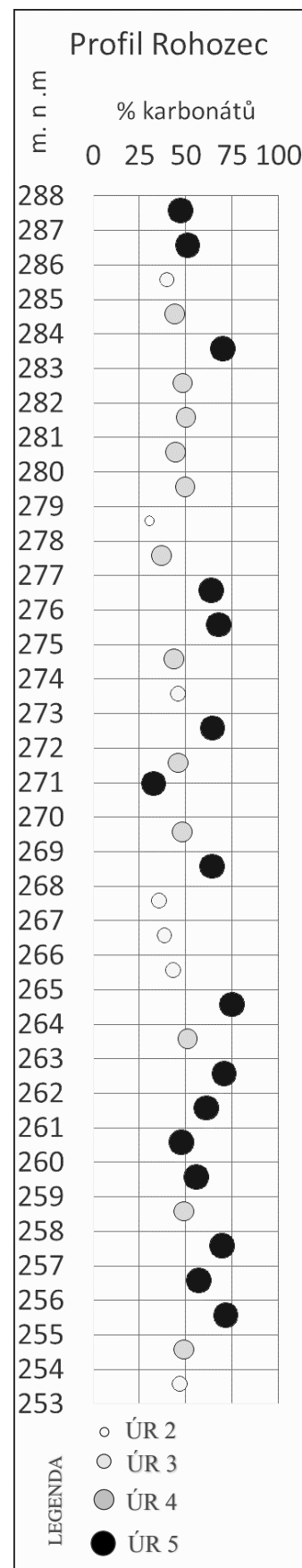
K23: Pramínek u Bartošovy Pece. Nepatrný vývěr z puklinové plochy asi 300 m po proudu od Bartošovy Pece je z hlediska chemického složení velice zajímavý. Jedná se o silně karbonátovou vrstvu s průměrným obsahem kalcitu 73 % ze čtyř vzorků. Vzorky se úplně rozpadaly, ne vždy beze zbytku. K23C obsahoval 0,5 – 1 cm silnou pískovcovou vrstvu (viz. Obr. 4.34), která zůstala po loužení zachovaná. Jaký vliv mohla mít vrstva pískovce na rozšiřování horizontální pukliny, zůstává otázkou. Na výchozu je takových vrstviček vidět několik a často mají roli erozního rozhraní v rámci výchozu.



Obr. 4.34: K23: Pramínek u Bartošovy Pece. Foto: J. Bruthans

K39; K40; K41; K18; K17: Profil Rohozec: Po zjištění vysokých obsahů karbonátů v oblasti některých ponorů a vývěrů v této oblasti (výše) a po zjištění, že se zde nenacházejí archivní vrty, jejichž jádra by bylo možné loužit, jsme se spolu se školitelem rozhodli k detailnímu zmapování obsahu karbonátu a míry rozpadavosti po loužení v HCL v jizerském souvrství v oblasti Turnova. V silničním zářezu v kopci Vápeník jsme proto odvrtali jádra na profilu o výšce okolo 35 m. K orientaci ve vertikálním směru jsme využívali horizontálních mezivrstevních ploch, které jsou průběžné celým výchozem, nebo jeho výraznou částí. K určení nadmořské výšky jsem využil nivelační bod Da 7-11. Vertikální rozměr může být ovlivněn metodou měření. Odchylka může být až 1 metr v oblasti hlavního profilu (288 – 261 m. n. m.). Celkově může být v absolutních výškách ještě větší. Jádra K39 a K40 na sebe po 1 metru přímo navazují a tak tvoří hlavní část profilu až po K40X. Od úseku K41 (261 m a níže) začíná část profilu navazující, u které není přesnost návaznosti určená, protože zde jednak chybí nivelační body a především jsou obě části profilu od sebe vzdálené několik set metrů a i při mírném úklonu vrstev jizerského souvrství mohou stejné horniny na obou lokalitách vůči sobě posunuty vertikálně až o několik metrů. Na úsek K41 byly navázány dříve odvrtané úseky K17 a K18 (257 – 254 m. n. m.). Odchylka přesnosti jejich navázání může být až 1 m.

V profilu se vyskytoval poměrně jednotvárný jemnozrný vápnitý pískovec resp. písčité vápenec. V profilu se nevyskytují žádná výrazná litologická rozhraní, pouze občas výrazněji odlišné vrstvy s jemnějším materiálem, které se projevují rozpadem na úlomky. To odpovídá grafu obsahu RS na Obr. 4.35, jehož průběh je poměrně monotónní. Většina vrstev je dostatečně vápnitá k tomu, aby se loužením středně až úplně rozpadala a tím umožňovala krasovění. Nejvýraznější rozpadavé vrstvy jsou: 288 – 284, 273 – 269 a 265 – 255 m. n. V profilu bylo zastiženo hned

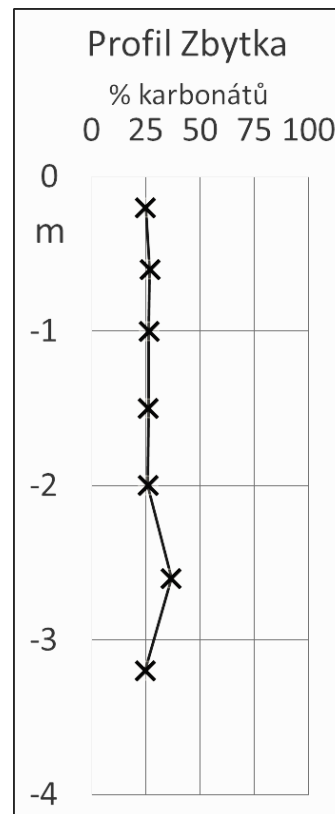


Obr. 4.35: Graf závislosti obsahu RS na poloze v profilu Rohozec. Průměr kruhů a jejich barva symbolizuje úroveň

několik vrstev s podobným obsahem karbonátu, jako měla vrstva Pramínek u Bartošovy Pece (K23). Je možné, že je některá z vrstev její přímé pokračování. Vzorky byly občas složené z rozpustnějších a méně rozpustných částí až v poměru 1 : 1 (viz. příloha 8.3).

4.4.3 Podorlická křída

K24: Zbytka: Prameniště Zbytka (jímací území Litá) je významná lokalita, která slouží jako vodní zdroj pitné vody pro Hradec Králové. V oblasti prameniště se vyskytuje nevýrazný hřbítok hornin spodního turonu, který je stropem kolektoru. V tomto hřbítku vznikl drobný, v současnosti opuštěný lom (Obr. 4.37), kde jsou zastíženy velmi odolné silicifikované prachovce. Okolí je evidentně postižené tektonickou činností Opočenské flexury, protože některé profily vystupují nad okolní rovinu. Malý profil, který jsme takovou stěnou zvolili, procházel po celou dobu velmi jednotvárnou, pevnou horninou. Průměrná hodnota obsahu kalcitu je zde 27 % (Obr. 4.36). Všechny loužené vzorky si zachovaly velkou mechanickou odolnost, přestože část z ní ztratily (tedy ÚR 2). Rozšiřování puklin prouděním vody po odvápnění těchto hornin proto není pravděpodobné. Vzorek K24G (-2,6 m) byl také prozkoumán pomocí SEM. Hornina je svojí texturou podobná prachovým slínovcům z vrtných jader (Obr. 4.37).

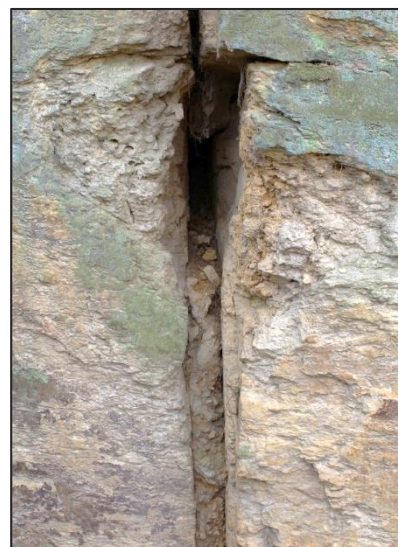


Obr. 4.36 Graf závislosti obsahu RS na poloze v profilu Zbytka.



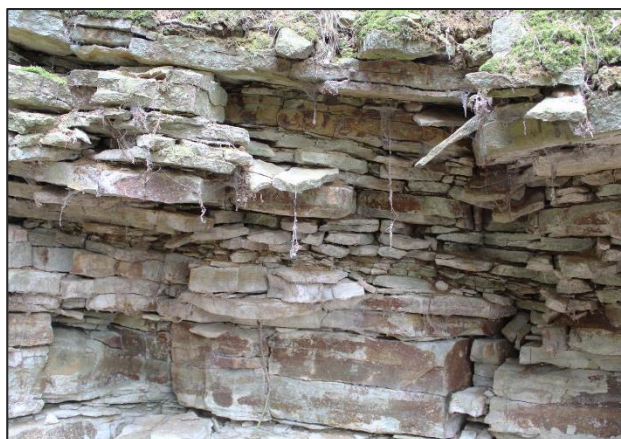
Obr. 4.37: K24: Panorama lokality Zbytka zobrazující oba úseky profilu. Panorama zobrazuje zhruba 150°. Zobrazované předměty tedy ve skutečnosti neleží v jedné rovině. Foto: Autor.

K25: Přepychy, lom. Specialitou této lokality jsou vápnité konkrce, které pokračují až metr hluboko do stěny výchozu a protože jsou mnohdy úplně zvětralé, vznikají na nich větvené dutiny protáhlého tvaru. Nejsou však dostatečně propojené na to, aby mohly vést vodu. Časté vertikální pukliny nevykazují známky toho, že by sváděly dovnitř lomu mnoho vody z okolí. Voda ze srážek pravděpodobně stéká po povrchu stěn. Povrch některých puklin vypadá zvětralý a tím jsou pukliny částečně rozšířené (viz. Obr. 4.38). Vzorek odebraný poblíž jedné z puklin se zdánlivými známkami krasování (zaoblení a vykroužení stěn dutiny) obsahoval 0,00 % kalcitu. Spongility však obvykle obsahují karbonátů více. Při původní porozitě 5 - 10 % by podle Obr. 4.9 mohl vzorek původně obsahovat až 20 % karbonátů. Kvůli množství konkrací ale není možné zjistit, jaký byl původní obsah karbonátů v hornině před diagenézí a zda je oprávněné v ní kalcit vůbec uvažovat. Při tom, jak moc jsou odvápněné konkrce, je možné, že byla odvápněná většina výchozů v lomu. Vzorek z relativně nezvětralé konkrce obsahoval 41 % kalcitu. Jeho porozita byla 28 %, takže byl také již postižen zvětřáváním. Podle Obr. 4.9 mohl původně obsahovat přes 60 % karbonátů. Samotným loužením se však nerozpadal, pouze ztratil původní pevnost.



Obr. 4.38 K25: Detail rozšířené pukliny se sedimentární výplní. Foto: Jiří

K26: Vrchoviny, lom. Jedná se o opuštěný spongilitový lom s horninami podobnými předchozí lokalitě, také s jednou ovzorkovanou vápnitou konkrací. Na profilu je vidět typická pravoúhle blokovitá rozpadavost těchto hornin (viz. Obr. 4.39). Někde jsou ve vrstvách zvětralých bloků viditelné jejich deformace způsobené růstem kořenů stromů v minulosti. Tři odebraná jádra tvořící



Obr. 4.39: K26: Stěna lomu, ukazující typický způsob rozpadu místních spongilitů. Foto: Jiří Bruthans

profil měla v průměru 0,1 % kalcitu. Podle Obr. 4.9 mohly původně obsahovat 20 – 30 % karbonátů. Hornina je při povrchu odvápněná všude stejně, bez závislosti na poloze v profilu. To může být dáno tím, že byly odvápněny podzemní vodou v době, kdy se nacházely pod úrovní

její hladin, podobně jako u K25. V materiálu vápnité konkrce je obsaženo 66 % kalcitu, ovšem při pouze střední míře rozpadu. To značí, že je materiál konkrce zpevněný rekrytalovaným křemenem (podobně jako ostatní konkrce, např. K25B).

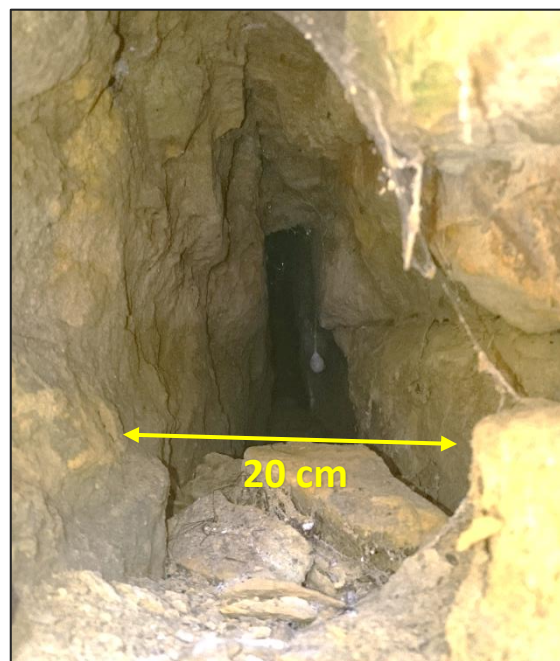
4.4.4 Vysokomýtská synklinála

K27; K28; K29: Železniční zářez v Chocni: První odebraný vzorek K27A zachytil silně vápnitou polohu, jejíž vzorek obsahoval 78 % kalcitu a loužením se beze zbytku rozpadal. Detailně je rozebrán v kapitole 4.3.1. Hornina je zde evidentně postižena korozí (Obr. 4.40). Protože se nachází při povrchu a je poměrně málo mocná, nejsou v jejím okolí žádné další známky krasového reliéfu. Na druhé straně zářezu, jejíž poloha se nachází o několik metrů níže, již stejná poloha zastižena nebyla. V odebraném vzorku K28A zdravé spongilitové horniny se nachází 52 % kalcitu, ale soudržnost loužením neztrácí. Další dva vzorky byly mnohem zvětřalejší a odvápněné. Průměrně obsahují 1 % karbonátů a loužením pevnost dále neztrácely. Podle Obr. 4.9 mohly mít původně 40 až 50 % karbonátu. To dokazuje, že i materiál ve více odvápněných puklinách se původně příliš nelišil od okolních nevětřalých hornin.



Obr. 4.40: K27: Korozi rozšířená puklina.
Foto: Jiří Bruthans

Nejzajímavější úsek lokality se nachází ve stěnách zářezu. Zhruba 8 m pod K28 se nachází podobné, ještě pevnější horniny. Každých několik metrů je v profilu výrazná vertikální puklina, která evidentně stahuje vodu z okolí, protože z téměř každé vyrůstá přímo ve stěně strom nebo křovina. Na povrchu puklin jsou až 1 cm mocné vrstvy vysráženého kalcitu snad z období diagenese. Vzorky představují materiál, který v jedné z puklin tvoří 10 - 20 cm široký kanálek vedoucí alespoň 2 m do skály, dál již nebylo vidět (Obr. 4.41). K29A představuje více zastoupenou vrstvu, která se jeví odolnější vůči erozi. Obsahuje 57 % kalcitu, avšak loužením pouze ztrácí pevnost. Podobně je tomu u K29B, která obsahovala 47 % kalcitu



Obr. 4.41: K28: Hluboká dutina v železničním zářezu. Foto: Autor

a rozpadala se slabě. To však mohlo být způsobeno zvětralejším stavem horniny, která se šupinovitě rozpadala již před loužením. Oba typy hornin jsou popisovány v kap. 4.3.1. K jejich rozpadu loužením nedochází a odvápnění je zde pravděpodobně pomalejší než u spongilitových lomů K25 či K26. Proto se nezdá pravděpodobné, zde krasovění samo o sobě mohlo vytvořit trubicovitou dutinu. Nelze ale vyloučit, že na puklinových zónách, kde dochází k drčení materiálu, může dojít odvápněním k rozvolnění struktury a úlomky mohou být vynášeny prouděním podzemní vody. Rozpad materiálu na puklinových zónách je zde všude dobře patrný.

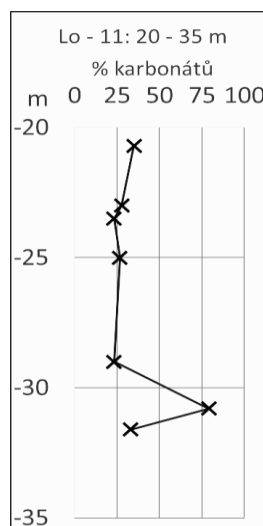
K30: Oucmanice. Další lom jsme vybrali ke vzorkování kvůli až 2 cm mocným sintrům na puklinách (Obr. 4.42), které značí, že puklinami dříve proudila voda. Stáří sintru známé není, ale jeho rozpouštěním v mladších dobách by mohlo dojít k vytvoření kanálku, kterým by mohlo proudit značné množství vody. Při odběru vzorků sintru, které v práci analyzovány nejsou, jsme ověřovali i spongilit, ve kterém se puklina nachází. Díky tomu, že se nacházel pod slabou vrtvou sintru, nebyl ještě na rozdíl od většiny ostatních vzorků spongilitů odvápněný. Obsahoval 44 % kalcitu a loužením pouze ztratil pevnost. Podle změřených parametrů jde o materiál podobný vzorku K29A.



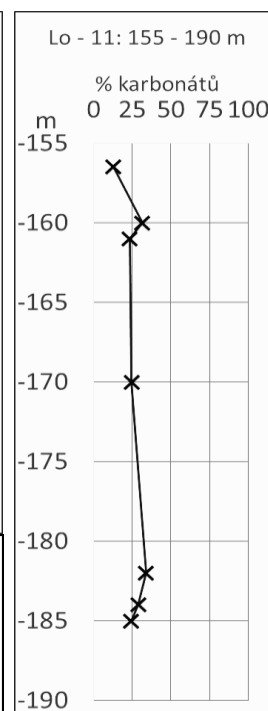
Obr. 4.42: K30: Detail sintru na stěně lomu. Foto: Jiří Bruthans

Dále jsou diskutována jádra odebraná z hmotné dokumentace archivních vrtů.

Lo - 11 : Dolní Sloupnice:
Ve vrtu je několik úseků, kde se nachází méně významné přítoky. Významnější přítoky jsou v rozmezí 20 – 26 m, další je 28 – 32 m a 152 – 186 m (Iva Kůrková, úst. sd.). Oba intervaly jsou ověřovány dle možností a výsledky vyneseny v grafech na Obr. 4.43 a 4.44. Všechny vzorky loužením pouze ztrácely původní pevnost. Jediný vzorek, který se slabě rozpadal, pochází z hloubky 30,8 m. Na získaných vzorcích tedy nebyly zachyceny úseky, které by umožňovaly tvorbu



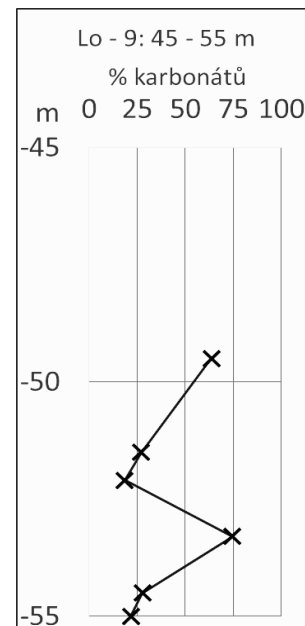
Obr. 4.43: Graf závislosti obsahu RS na poloze v profilu Lo - 11 - 1. část.



Obr. 4.44: Graf závislosti obsahu RS na poloze v profilu Lo - 11 - 2. část

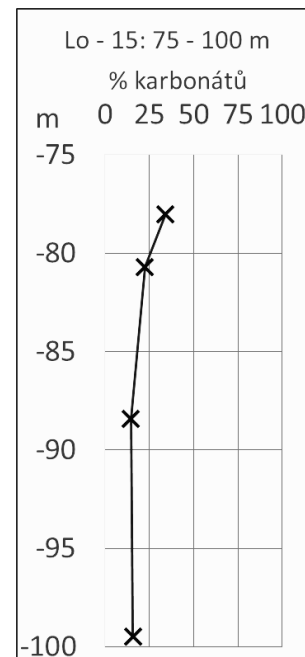
krasu, je ale třeba si uvědomit, že k dispozici bylo jen několik archivovaných vzorků vrtného jádra na mnohometrové úseky vrtu. Typická textura těchto i dalších slínovců je na Obr. 4.47.

Lo – 9: Hrušová: V tomto vrtu se největší přítoky až 25 l/s nachází v úseku 46 – 55 m, s údajným maximem v hloubce kolem 51 m (Iva Kůrková, úst. sd.). V tomto úseku byl v případě vzorku z hloubky 53,3 m zastižena vrstva, které se slabě rozpadala. Ostatní vzorky pouze ztrácely pevnost. Slabý rozpad zdaleka nemusí znamenat krasovění a rozšiřování puklin. Je to však náznak toho, že se v úseku může nacházet ještě více karbonátová vrstva, která nebyla zachována v dostupných archivovaných vrtných jádrech. Získané výsledky jsou vyneseny na Obr. 4.45.



Obr. 4.45: Graf závislosti obsahu RS na poloze v profilu Lo - 9.

Lo - 15/4: Pekla: Největší přítok do tohoto vrtu je v hloubce 87,5 m, kde se má nacházet dutina oválného tvaru, ze které do vrtu přitéká až 100 l/s (Iva Kůrková, úst. sd.). Taková dutina může být jediné krasového původu. Tato hloubka byla bohužel ve výběru jader přístupná pouze prostřednictvím 1 m vzdáleného vzorku, který může být vlastnostmi již velmi odlišný. Interval vyneseny na Obr. 4.46 se ukázal být poměrně monotónní, bez jediného projevu rozpadu. To svědčí o tom, vzorek z cílené vrstvy ve výběru scházel.



Obr. 4.46: Graf závislosti obsahu RS na poloze v profilu Lo - 15.

Lo – 17: Makov: V tomto vrtu se nachází pouze menší přítoky kolem hloubky 130 m a až 1,5 l/s v hloubce 170 - 186 m. Vzorek, který se nacházel nad nimi, v hloubce 123 m obsahoval 77 % RS a slabě se rozpadal. Vzorek z hloubky 123,3 už podléhal s 80 % RS střednímu rozpadu. Následující vzorek z hloubky 123,5 měl pouze 25 % RS a nerozpadal se. I jeho textura je úplně odlišná od předchozích. Vrt zde tedy přecházel významné litologické rozhraní. V obrazové příloze je vidět, že se ze vzorků selektivně rozpadaly více vápnité útvary. Není vyloučené, že by mohla voda v této hloubce prouděním vytvářet rozšířený kanálek. Dva vzorky (167,3 a 170,3) popisující druhý přítokový úsek nezastihly horniny, které by se silněji rozpadaly.

Lo – 20: Slatina: V tomto vrtu se největší přítoky až 30 l/s nachází blízko hloubky 233,5 m (Iva Kůrková, úst. sd.). Další, menší přítoky jsou v hloubkách 28,6 m (2 l/s) a v hloubce 38 – 39 m (5 l/s). Vzorek odebraný z hloubky 234 m se nerozpadal, stejně jako z hloubky 39,3 m. Pozoruhodný však je úsek v hloubce 28,5, kde vrt zastihl aktivní zlom vyplněný až 3 cm mocnou



Obr. 4.47: Typická textura slínovců z popisovaných vrtů. Foto: Jiří Bruthans

kalcitovou žílou (Obr. 4.48), na které byly známky obrušování pohybem po zlomu (tektonické zrcadlo). Kalcit byl skutečně prakticky čistý, obsahoval 94 % RS. Velmi vápnitá je však i hornina, na níž byl vysrážen: 82 % RS. Oba vzorky se beze zbytku rozpadaly.

Lo – 21: Končiny: V hloubce 151,6, kde se nachází přítoky (Iva Kůrková, úst. sd.) vrt zastihl jílové rozhraní izolátoru a kolektoru. Vzorek z báze izolátoru (tj. též báze inverzního gradačního cyklu) byl pravděpodobně téměř 100 % jíl, který bylo velmi obtížné vrtat. Nebyl ani zpevněný, rozpadal se pouze po ponoření do vody (proto byl ze souhrnných statistik vzorků vyřazen). Blízký vzorek z hloubky 151,4 m byl podobně jílový, ale více zpevněný. Analyzován však dále nebyl. Pod nimi



Obr. 4.48: Lo – 20 / 28,5 A,B: Kalcit vyplňující puklinu s několika ohlazeními způsobenými pohybem po zlomu a následným překryvem další vrstvou kalcitu. Foto: Jiří Bruthans

se v hloubce 152,2 nachází již klasický slínovec, který se loužením nerozpadá.

4.4.5 Ústecká synklinála

K31: V dolech 1. Jedná se o rozsedlinovou jeskyni při vrcholu svahu tvořeného spongilitem. Podle Vítka (1977) je pohyb svahu stále aktivní, což dokazují stálé pohyby bloků v rozsedlině. Jeskyně je suchá, vsakující voda jí může protékat pouze při větších srážkách. Odebraný vzorek K31A obsahoval 1,1 % RS a pevnost loužením



Obr. 4.49: K31: Okrouhlá dutina v jeskyni V Dolech 1. Pohled vzhůru. Foto: Jiří Bruthans

neztratil. Pravděpodobně se jedná o dříve odvápněný vzorek, který mohl podle Obr. 4.9 původně obsahovat kolem 20 % karbonátů. Odvápnění mohlo stát za vznikem až 1 m vysoké dovrchní okrouhlé dutiny (Obr. 4.49), z jejíž stěny vzorek pochází. Může se jednat o pozůstatek konkrecí. Vykroužení dutiny ale může mít i původ v kulovitém rozpadu spongilitů pozorovaném na povrchovém výchozu v této oblasti a nemusí být tedy důsledkem rozpouštění.

K32: Pramen Bukovka. Na druhé straně údolí Skuhrovského potoka z pukliny pramení přibližně 0,5 l/s. Hornina tvořící okolí pukliny je velmi zpevněný slínovec, který obsahoval 35 % kalcitu a slabě se rozpadal. Původ pukliny je evidentně tektonický, rozšířený spíše erozí povrchu výchozu způsobenou atmosférickými vlivy.

4.4.6 Broumovsko (Polická pánev)

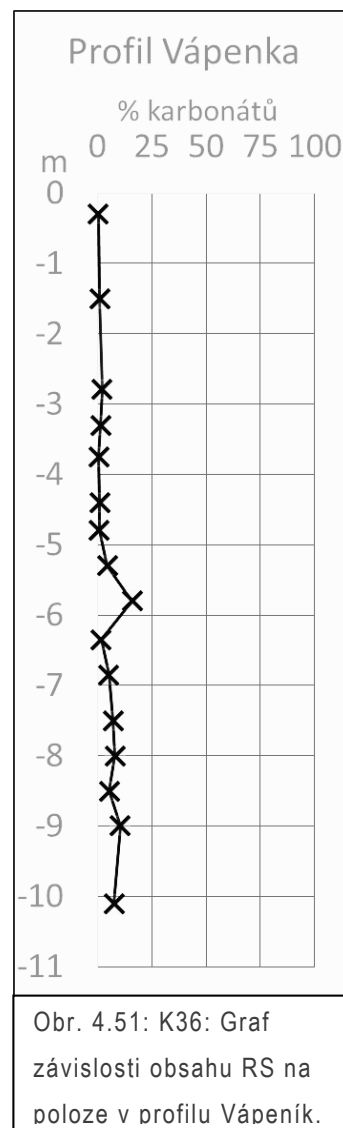
K33 – K35: Sloupky: V okolí Broumova jsem měl možnost pozorovat místní fenomén: přírodní „sloupky“ ve skalních stěnách. Protože následující tři lokality pojednávají stejný fenomén, shrnu je zde do jedné. Horizontální vápnitou čočkou či konkrecí podlouhlého tvaru procházejí vertikální pukliny



Obr. 4.50: K35: Příklad sloupkového rozpadání na nejlépe rozvinutém profilu. Foto: Jiří Bruthans

a jejich selektivní zvětrávání postupující od puklin do jejich okolí zanechává ve výchozu sloupkovité útvary omezené erozí ze dvou až čtyř stran do tvaru přesýpacích hodin (viz. Obr. 4.50) – dále jsou označovány jen jako „sloupky“. V určité vzdálenosti v profilu vyznívá v horizontálním směru buď celá čočka, nebo častěji vyznívá eroze rozpuštěného rezidua. Samotné sloupky jsou vysoké obvykle stejně, jako je výška těchto čoček – až 40 cm. Obsah RS se mezi sloupky i v rámci jednoho sloupku velmi různí – od zhruba 25 do 90 %. Právě tato různorodost pravděpodobně stojí za jejich vznikem. Vzorek s nejvyšším obsahem pocházel ze středu 10 cm vysokého sloupku K33A. Ostatní vzorky (K34Y, K35AY) pocházely od horního či spodního okraje větších sloupků a samotným loužením se rozpadaly pouze slabě, podobně jako vzorky z vápnitých konkrecí (K25B; K26C). Ve vrstvě vzorku K33B se nacházela zvláštní výplň prorostlá křemennými žilkami ve tvaru kořenů, které znemožňovaly tvorbu sloupků. Více jsou popsány v kap. 4.3.1. Je zjevné, že obsah karbonátu dostačuje k vysvětlení rozšiřování puklin do sloupků. Samotná příčina tvorby sloupků však není plně objasněna. Je možné, že šířku dutiny a tím i míru zúžení sloupků řídí pouze obsah karbonátů, který dává erozi materiálu uprostřed nejvyšší rychlost a omezené erozi materiálu při okrajích sloupku rychlost nižší, což by vedlo ke tvaru sloupků pozorovanému na výchozech. Na mnoha místech bylo pozorováno, že nesoudržné reziduum zůstává po odvápnění in situ (rezavě zbarvené proužky v hornině pokračují bez přerušení i do rezidua) a vyplavuje se teprve sekundárně při obnažení výchozu na strmém svahu.

K36: Vápenka. Profil je pojmenovaný Vápenka podle nedaleké osady nebo vápenky, která zde v minulosti snad stála. Jedná se o lůmek v zákrutu silnice, kde je obnažen profil většinou či celým kolektorem A2, který je nejvýznamnějším kolektorem v Polické pánvi (Krásný et al., 2012), . Většinu profilu tvoří jednotvárné šedohnědé až rezavé rohovce až silicity, které při bázi profilu vystřídají tmavě šedé až modravé rohovce. Všechny odebrané vzorky vynikají svojí odolností vůči vrtání a stejnou pevností před i po loužení. Zjištěné hodnoty jsou vyneseny na Obr. 4.51. Typický obsah RS je u šedohnědých vzorků kolem 1 % a u tmavě šedých se pohybuje v rozsahu 5 – 10 %. Pouze jádro K36K (-5,6 m) obsahovalo 16 % RS a také ztratilo malou část ze své značné pevnosti. Profil nejeví známky silnějšího rozpukání či svahové odlučnosti, pouze angulární blokovitý rozpad podle horizontálních vrstev. V literatuře se objevují velmi různé názory na obsah CaCO_3 v tomto souvrství. Zatímco Hynie (1961) uvažuje v tomto souvrství o vysokém obsahu karbonátů, (Krásný et al., 2012) popisují, že toto souvrství neobsahuje vyšší podíl karbonátů. Výsledky ukázaly, že obsah karbonátu je nízký a velmi vysoká propustnost tohoto souvrství není dána rozpouštěním karbonátu ale jinými příčinami.



5 Diskuse

5.1 Kontrola správnosti postupu při loužení

Protože zvolená metoda stanovování parametrů hornin před a po loužení neodpovídá běžně používaným laboratorním metodám, bylo zapotřebí pokusit se určit přesnost metod a chybu měření při stanovení obsahu karbonátu.

Při stanovení parametrů změřených loužením záleželo především na tom, aby nedocházelo ke ztrátám hmotnosti při převodu materiálu mezi nádobami díky úniku jemné frakce. Nerozpustné zbytky, které ulpěly na nádobách či používaných nástrojích, měly obvykle hmotnost menší než 0,01 gramu. U velmi rozpadavých hornin mohly být ztráty až 0,03 g. Vzorky měly před loužením průměrnou hmotnost 30 g. Taková ztráta tedy vyjadřuje až 0,1 % hmotnosti původního vzorku.

Hlavní problém spočívá ve vážení vzorků za laboratorní vlhkosti. Vážení vzorku přicházelo v úvahu samozřejmě až poté, co se jejich vlhkost vyrovnala s okolním vzduchem a tím ustal výpar vody. Laboratorní vlhkost byla vybrána proto, aby struktura vzorku nemohla být poškozena vysokou teplotou v průběhu vysoušení v sušičce. Protože vlhkost a hmotnost vzorku jsou si víceméně úměrné, musel jsem zajistit, aby změny vzdušné vlhkosti neměly vliv na hmotnost vzorku. Abych mohl posoudit vliv změn vzdušné vlhkosti, vybral jsem několik vzorků horniny podobné zpracovávaným vzorkům. Ty sloužily jako referenční vzorky, které nebyly dále zpracovávány, pouze průběžně váženy. Naměřené hmotnosti vzorků byly brány v úvahu pouze v případě, že hmotnost referenčního vzorku zůstala konstantní. V tomto případě je nejistota měření asi 0,03 – 0,05 g (0,1 – 0,2 %), protože různé horniny reagují na malé změny vlhkosti trochu odlišným způsobem. Vlastnosti mnoha hornin jsou loužením zásadně změněny, což s sebou může přinášet tuto chybu. Jiná absorpce vody může být způsobena nárůstem pórovitosti a zpřístupněním jílových minerálů vzdušné vlhkosti.

Další problém je znalost všech látek, které jsou HCl rozpouštěny, případně jaké produkty reakce se mohou vysrážet. Nepřesnost měření v tomto případě nelze přesně stanovit, protože je pro každou horninu jiná. Musí být však malá, protože jinak by HCl nebyla ke stanovení komerčně použitelná (používá ji většina laboratoří, např. ČGS). Aby nedošlo k záměně pojmů, je v práci rozlišen obsah celkové rozpustné složky (RS) od obsahu karbonátů, případně obsahu kalcitu. Podle Procházky (2011) by neměla být schopná rozložit odolnější minerály klastického původu jako monazit, allanit či zirkon, může však rozpouštět apatit. Podle

Konty (1967) může HCl rozpouštět mnoho minerálů ze skupin sulfidů, fosfátů, jemných oxidů železa a také některé jílové minerály. Většina jílových minerálů podle Tayie et al. (2013) působení HCl odolá, může se z nich však vyloužit značné množství hořčíku, hliníku a zinku. Podle Ray et al. (1957) může být ze skupiny jílových minerálů rozpuštěn např. hektorit – hořečnatý montmorillonit.

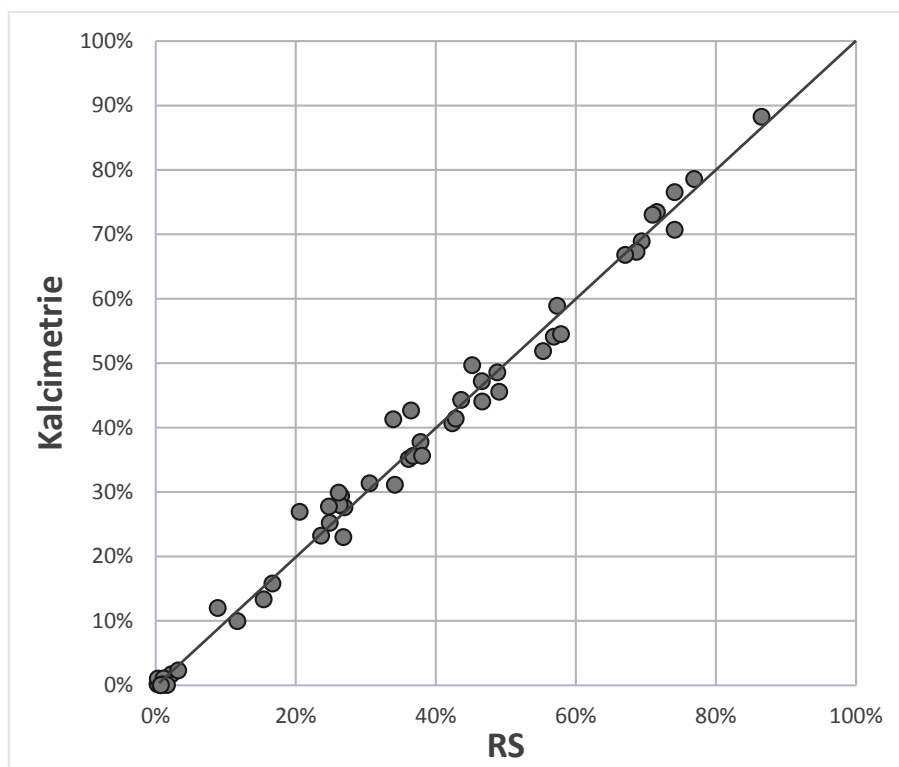
Tyto tři problémy doprovázely měření obsahu karbonátů, kde způsobovaly určitou chybu. Protože však je mnohem větší variabilita způsobena nestejností parametrů i v jádrech odebraných z prakticky stejného místa, lze je přehlédnout a odhadnout přesnost stanovení na desetinu procenta obsahu, na kterou je však třeba nahlížet s dostatečnou rezervou.

V průběhu analýz jsem zjistil, že v některých případech nemusí dojít k dostatečnému proniknutí HCl ke všem molekulám karbonátu obsažených ve vzorku. Takový jev nebyl způsoben malou reaktivností roztoku, protože se situace nezlepšila ani po jeho výměně. Stejný jev pozoroval i Slavík (2012), který používal několikanásobně větší úlomky horniny. Z hlediska difuzního chování iontů v kapalině by měly vodíkové ionty pronikat neustále směrem k reakční frontě. Vznikající bublinky CO₂ však mohou přerušovat kapilární kanálky, a tím izolovat nerozpuštěné karbonáty při centru vzorku. Za jejich uzavření mohou být zodpovědné i bobtnající jílové minerály. Po přerušení loužení a oschnutí vzorku bude při následném loužení proniknutí kyseliny do vzorku úspěšnější (Slavík, 2012), ani to však nezaručuje úplné rozpuštění karbonátů. Protože tento jev nebyl zaznamenán u mnoha vzorků, je možné, že vyžaduje nějaké specifické zrnitostní a minerální složení, jako např. jemnozrnný křemenný pískovec s vysokým podílem jílové složky v jílovo - karbonátové matrix. Díky malé velikosti používaných vzorků se tento jev projevuje při stavení obsahu RS jen velmi malou chybou, jak je vidět na Obr. 5.1. Vzorky s ÚR 3 – 5 svým mnohdy selektivním rozpadem ukazují, že různé zastoupení nehomogenit má na hodnotu obsahu RS daleko větší vliv.

Malý test tohoto jevu jsem provedl na vzorku K20, z něhož jsem loužil úlomek o hmotnosti 167,01 g. Reakce po několika dnech ustala, avšak když jsem kovovým nástrojem odstranil zreagovaný povrch, znovu začala. Takovou akci jsem provedl opakovaně, dokud nebyla značná část vzorku rozpuštěna. Z tohoto testu lze vyvodit, že reakční fronta je sice ostrá, ale po určité době dosáhne pH pronikajícího roztoku stavu, kdy jeho gradient nestačí k dalšímu difuznímu pronikání dále do horniny.

Abych mohl porovnat, jaký je skutečný vliv všech těchto jevů na přesnost stanovení, porovnával jsem hodnoty RS změřené pomocí loužení celých jader a měření kalcimetrie

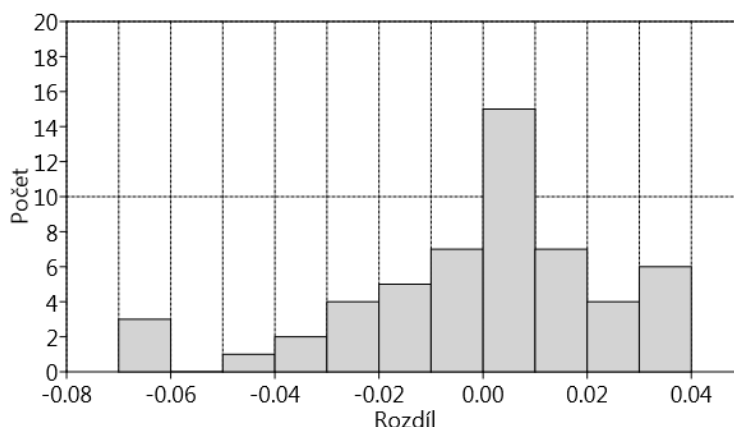
z akreditované laboratoře ČGS, které byly provedeny na materiálu namletém na analytickou jemnost (viz. Kap. 3). Oba parametry jsou vyneseny proti sobě v grafu na Obr. 5.1. Když si jsou hodnoty blízké, nachází se body poblíž úhlopříčky $y=x$, která je v grafu vyznačena. Pokud je RS naměřené loužením nižší než stanovení laboratoře, zobrazí se bod nad úhlopříčkou. Pokud je naopak větší, zobrazí se pod úhlopříčkou.



Obr. 5.1: Graf zobrazující porovnání odhadu při loužení vůči stanovení v laboratoři.

Z grafu na Obr. 5.1 je zřejmé, že odchylka měření je víceméně náhodná, není závislá na obsahu RS a není vychýlená na některou stranu úhlopříčky. Hodnoty obou parametrů jsou víceméně shodné, a proto je možné říci, že stanovení obsahu RS výše popsanou metodou jsou správná.

Výběrový průměr 54 hodnot rozdílů mezi kalcimetrií a stanovením RS je 0,0012. Směrodatná odchylka souboru je 0,0252. Pomocí t-testu jsem zjistil, že průměrná odchylka může být 0 (s 95% pravděpodobností). Pearsonův koeficient korelace hodnot RS a kalcimetrie je 0,995. Histogram hodnot rozdílu měření je na Obr. 5.2.



Obr. 5.2: Histogram hodnot rozdílů mezi kalcimetrií a stanovením RS. Hodnota porozity je zde uvedena jako desetinné číslo kvůli použitému statistickému programu.

Dále lze kritizovat zvolený postup loužení za to, že silná kyselina bude rozpouštět horniny mnohem agresivněji, než kyselá voda. Z časových důvodů (vodě by to trvalo tisíce let) však není možné porovnat loužení v obou roztocích na stejně velkém vzorku stejné horniny. Můžeme si tedy pouze představovat, zda by výsledek loužení byl stejný. Zde je však nutné uvést, že i HCl dokázala působit velmi precizně. Z mnoha vzorků vypreparovala schránky živočichů tak dokonale, že jejich otisky zůstávaly viditelné v okolním jílu s velkým detailu.

5.2 Rozpad loužených hornin

Z výsledků není jisté, zda jsou v práci zahrnuty všechny významné druhy vápnatých hornin, které mohou mít svůj specifický rozpad. Zdaleka nejsou v práci pokryta všechna souvrství ani většina rozlohy ČKP. Rozloha přechodní facie je však pokryta z poměrně velké části. Nejméně prozkoumaná oblast spektra obsahu karbonátů jsou hodnoty vyšší než 70 %. Z toho důvodu nemohla být přesněji popsána hranice rozpadu aleuropelitů. Hodnoty obsahu karbonátů menšího než 70 % jsou zastoupeny poměrně hojně a rovnoměrně. Jak ukazují např. výsledky stanovení obsahu karbonátů Z. Štaffena (1999, 2009) i jiné zdroje (Krutský, 1982 a další), zjištěné hodnoty rámcově odpovídají obsahu karbonátů většiny sedimentů, se kterými je možné se v oblasti ČKP setkat.

Ani ve vrtech, kde v některých hloubkách karbonátová křivka překračuje hodnotu 60 či 70 % karbonátů nelze automaticky očekávat, že by zde mělo docházet ke vzniku krasové porozity. Taková místa (vrstvy) jsou poměrně hojná ve vrtech nejen v pohří (Štaffen, 2009), ale i v labské faciální oblasti (okolí Hradce Králové a Pardubic) a Orlicko – žďárském vývoji (východočeské synklinály), (Štaffen, 1999). Aby bylo možné se pokoušet určit, zda na těchto vrstvách může docházet ke krasování, je potřeba přinejmenším zjistit, o jaký litotyp se jedná.

Velkou roli zde však hraje i tektonika. Zde vstupuje do hry také věrohodnost zdroje (např. vrtní dokumentace), protože rozeznávání hornin z vrtných jader může být poměrně obtížné a navíc se zde potýkáme s nejednotnou klasifikací (slínovec, prachovec, spongilit, vápenec a celé spektrum jejich přechodů). Pokoušet se odhadovat vznik krasové porozity pouze na základě obsahu karbonátů se jeví jako velmi odvážné až nemožné.

Největší náchylnost ke krasovění jeví kupodivu střednězrnné až jemnozrnné vápnité pískovce (např. vzorek K13B). Ty jsou ale z důvodu složité geneze v ČKP poměrně vzácné a patrně jsou omezeny především na jizerský vývoj. Jejich vrstvy navíc nebývají mocné (K13B pocházel z 30 cm mocné vrstvy), ale k tvorbě krasového kanálu mohou přesto dostačovat. I jemnozrnné vápnité pískovce jsou ke krasovění náchylné a skutečně se mohou podílet na vzniku krasu v okolí Turnova. Jeskyně Šálení Smyslů, Bartošova pec, četné závrtky a ponory jsou toho dostatečným důkazem. V případě slínovců a spongilitů, jež byly odebrány v oblastech podorlické křídly, je vznik krasu v tektonicky neporušené hornině velmi málo pravděpodobný. Většina zkoumaných vzorků loužení dobře odolávala. Na puklinových zónách je však poměrně častým jevem zvětšování vyklizeného prostoru v puklinách. Protože mají povrchy těchto puklin mnohdy velmi nízké obsahy karbonátů (někdy ještě mnohem nižší než např. kvádrové pískovce), není pravděpodobné, že by k rozšiřování puklin mělo docházet korozí. Velmi pravděpodobně se jedná o kombinaci působení tektoniky a dalších, zatím neznámých faktorů. Mnohde byly zastiženy případy, kdy nadrcený materiál setrval v puklinách bez další eroze. Prachovce a jílové (glaukonitické) slínovce, jaké byly odebrány z vrtů ve Vysokomýtské synklinále, jsou již loužení natolik odolné, že u nich nemohla být s jistotou stanovena horní hranice obsahu RS potřebné k jejich rozpadu loužením. Není tedy vyloučeno, že i horniny s např. 85 % budou loužení odolávat. Jeví se to však velmi nepravděpodobné. Nejpevnější zastižené horniny, rohovce polické páve, měly velice nízký obsah karbonátu. Jako kolektor A2 budou proto dovolovat pouze puklinovou propustnost.

6 Závěr

Celkem jsem vyhodnotil 158 různých vzorků hornin z české křídové pánve od kvádrových pískovců, přes prachovce, silicity, jílovce, slínovce až po jílovité vápence ohledně jejich potenciálu ke krasovění. Zpracování zahrnovalo především měření obsahu karbonátů, klasifikaci způsobu rozpadu a měření porozity před a po loužení. S narůstajícím podílem karbonátové složky se stávají vyloužené vzorky méně soudržné. Horniny se rozpadají za určitou hranici, která je určena obsahem především karbonátů a zrnitostí vzorku, ale i konstitucí tmele a dalšími jevy, které mohly strukturu horniny ještě před loužením rozvolnit.

Předpoklad, že s větším obsahem karbonátů se bude loužený vzorek více rozpadat, byl během výzkumu potvrzen. Jak se ale ukázalo, závislost to není vždy jednoznačná. Chování konkrétních vzorků není určeno pouze obsahem RS, ale především její distribucí v hornině. Samotný podíl RS a nerozpustné složky nic neříká o tom, jakou mají v hornině roli. Proto je tato analýza jediný způsob, jak lze zjistit, zda zůstane hornina soudržná v kyselém prostředí.

Obecně lze říci, že střednězrné horniny jako vápnité pískovce ztrácejí soudržnost při výrazně menším obsahu karbonátů než ty jemnozrnější (slínovce, prachovce). Zatímco střednězrné horniny se kompletně rozpadaly už při 40 – 50 % karbonátů, jemnozrné pískovce se většinou rozpadaly až při obsahu karbonátů přes 50 %. Jako nejodolnější se jeví prachovité slínovce, které k rozpadu loužením potřebují minimálně 80 % karbonátů. Také horniny s rekrytalovaným křemenem téměř žádnou pevnost neztrácely i přesto, že měly poměrně vysoký obsah karbonátů. Naopak zůstávaly velmi pevné i po loužení. U jemnozrných hornin s velmi vysokým obsahem karbonátů (přes 50 %) je běžné, že obsahují velké úlomky vápnitých schránek. Jejich přítomnost pak zvyšuje obsah RS bez toho, aby se adekvátně zvyšovala i rozpadavost vyloužené horniny.

Tento výsledek je překvapivý a ukazuje, že z obsahu karbonátu nelze přímo určovat, zda se hornina rozpadne a umožní vznik krasových kanálů. Otevřenou otázkou zůstává, nakolik se rozpad může projevit po nadrcení vápnitého materiálu na tektonických zónách. V mnoha případech byl pozorován v terénu rozpad materiálu na povrchových výchozech ze zvětralých a odvápněných puklinových zón a materiál odvrtný z jejich okolí se po loužení v HCl nerozpadal. Vliv tektoniky je třeba studovat.

Obdobně jako rozpadavost po loužení narůstá s obsahem karbonátů i porozita vyloužených hornin, která však nezaručuje vysokou propustnost pro vodu. Lze však využít

k tomu, abychom mohli odhadnout obsah původní obsah karbonátů u hornin, které byly odvápněny in situ, pokud dokážeme odhadnout jejich původní porozitu.

Výzkum je dále obohacen o sadu snímků ze snímkovacího elektronového mikroskopu. K výzkumu pomocí mikrosondy byly vybrány vzorky hornin na celé škále obsahu RS. Sada snímků představuje průřez téměř všemi druhy hornin, se kterými jsem se v rámci výzkumu setkal. Zároveň jsou zahrnuty vzorky ze všech úrovní intenzity rozpadu loužených vzorků. Díky tomu lze porovnávat, čím je způsoben konkrétní typ rozkladu louženého vzorku, a tak je možné odhadnout, jak bude probíhat eroze podobných hornin.

Na základě těchto pozorování jsem zjistil, že klíčovou roli pro soudržnost horniny hraje distribuce prvků v pozorovaných horninách a potažmo karbonátů, křemene a dalších minerálů ve vzorcích. Hlavní rozdíl mezi vzorky, které se loužením rozpadají či nerozpadají, obvykle spočívá v tom, zda je rozpustná složka významně zastoupená v tmelu. Pokud tvoří klastickou složku, k rozpadu nedochází. Podobně k rozpadu nedojde v případě, že ve tmelu jsou silně zastoupeny rekrystalované minerály křemene (chalcedon) či jílové minerály. Ty v tom případě tvoří poměrně pevnou „kostru“ horniny, která udrží její soudržnost i přes významnou ztrátu hmotnosti. Jílové minerály mohou dokonce působit proti šíření kyselého roztoku a tím úplně zastaví další korozi. Zpevnění minerály křemene se vyskytuje zejména v horninách prošlých diagenézí, jako jsou spongility, slínovce a prachovce.

7 Literární Zdroje

BRUTHANS, J., ZEMAN, O., VYSOKÁ H. (2001): Geologie a hydrogeologie Bartošovy pece a okolí. *Speleofórum 2001*, s. 39-44.

BRUTHANS J., ZEMAN, O., VOJTĚCHOVSKÁ, A. (2003): Stopovací zkoušky a nové poznatky o Miskovickém krasu u Kutné Hory. *Speleofórum 2003*, s. 29-31.

BRUTHANS, J., MIKUŠ, P., SOUKUP, J., SVĚTLÍK, D., KAMAS, J., & ZEMAN, O. (2011): Sebeorganizace proudění a porozity v české křídové pánvi: výsledky stopovacích zkoušek a dalších metod. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2010 / Hydrogeologie*, s. 233-238.

BRUTHANS, J., SOUKUP, J., SVĚTLÍK, D., SCHWEIGSTILLOVÁ, J., MAYO, A. L. (2013): Zpevněné povrchy puklin v kvádrovém pískovci a jejich role při vzniku otevřené puklinové porozity a vzniku skalních měst. *Zpr. geol. Výzk. v Roce 2012*, s. 109-115.

CENIA [online] (2015) [citováno 2. 8. 2015]: Topografická mapa CENIA RT RETM. Mapová služba: CENIA, Česká informační agentura životního prostředí [<http://geoportal.gov.cz>]. Podkladová data: Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad. Dostupné na serveru: <http://geoportal.gov.cz/arcgis/services>. Jméno: CENIA/cenia_rt_RETm.

ČECH, S., KLEIN, V., KRÍŽ, J., & VALEČKA, J. (1980): Revision of the Upper Cretaceous stratigraphy of the Bohemian Cretaceous Basin. *Věstník Ústředního ústavu geologického*, vol. 55, no. 5, s. 277-296.

ČECH, S. (1994): Korelace turonských sedimentů východočeské křídý. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 1994*, s. 23 – 24.

ČECH, S. (2011): Palaeogeography and stratigraphy of the Bohemian Cretaceous Basin (Czech Republic) – an overview. *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, vol. 18 no. 1, s. 18-21.

EBERHARD, R. S., SHARPLES, CH. (2013): Appropriate terminology for karst-like phenomena: the problem with ‘pseudokarst’. *International Journal of Speleology*, vol. 42, no. 2, s. 109 – 113.

FOLK, R. L. (1959): Practical classification of limestones. – *Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.* vol. 43, s. 1-38

HAŠLAR, O. (1973): Závěrečná zpráva Kutnohorsko II. – 64 s. Geoindustria n. p. Praha, P25676.

HERČÍK, F. - HERMANN, Z. - VALEČKA, J. (2003): Hydrogeology of the Bohemian cretaceous basin. ČGS, Praha, 96 s., ISBN 80-7075-604-7.

HYNIE, O. (1961): Hydrogeologie ČSSR I. Prosté vody, nakl. ČSAV., Praha, 564 s.

CHLUPÁČ, I., BRZOBOHATÝ, R., KOVANDA, J., STRÁNÍK, Z. (2002): Geologická minulost České Republiky, Praha: Academia.

CHURÁČKOVÁ, Z., BRUTHANS, J., LACHMAN, V., MUSIL, V., KADLECOVÁ, R. (2010): Proudění podzemní vody ve východní a severovýchodní části české křídové pánve (^3H , ^{14}C a SF_6 stopovače, obsahy dusičnanů): doba zdržení a otázky efektivního monitoringu kontaminace *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2009 / Hydrogeologie*, s. 283 – 287.

KLIMCHOUK, A. B., FORD, D. C., PALMER, A. N., DREYBRODT, W. (2000): Speleogenesis, Evolution of Karst Aquifers, NSS, Huntsville, USA, 521 s., ISBN: 1-879961-09-1

KONTA, J. (1967): Use of monochloroacetic acid for separation of insoluble residues from limestones and related rocks. *Acta Universitatis Carolinae – Geologica*, no.4 s. 327 – 330

KONTA, J. (1973): Kvantitativní systém reziduálních hornin, sedimentů a vulkanoklastických usazenin. Univerzita Karlova Praha, Praha, 375 s.

KRÁSNÝ, J., CÍSLEROVÁ, M., ČURDA, S., DATEL, J.V., DVOŘÁK, J., GRMELA, A., HRKAL, Z., KŘÍŽ, H., MARSZALEK, H., ŠANTRŮČEK, J., ŠILAR, J. (2012): Podzemní vody České republiky: regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod. Česká geologická služba, Praha 1144 s. ISBN 978-80-7075-797-0

KRUTSKÝ, N. (1982): Minerální a chemické složení jílovito-karbonátových sedimentů české křídvy. *Acta Universitatis Carolinae – Geologica*, no. 1-2, s. 183 – 188.

MIKUŠ P., BRUTHANS J. (2011): Mystérium Ondříkovického slepého údolíčka vyřešeno! *Speleofórum 2011*, vol. 30, s 138 - 140

MOCCHIUTTI, A., MADDALENI, P. (2005): Chemical, geomechanical and geomorphological aspects of Karst in sandstone and marl of flysch formations in north east Italy. *Acta Carsologica*, vol. 34, no. 2, s. 349 – 368.

MOUNT, J. (1985): Mixed siliciclastic and carbonate sediments: a proposed first-order textural and compositional classification. *Sedimentology*, no. 32, s. 435-442

ORTOLEVA, P. MERINO E. MOORE C. CHADAM J. (1987a): Geochemical Self-organization I: Reaction-Transport Feedbacks and Modelling Approach. *Americal Journal of Science*, vol. 287, s. 979-1007.

ORTOLEVA, P. CHADAM, J. MERINO, E. – SEN, A. (1987b): Geochemical Self-organization II: The Reactive-infiltration Instability. *Americal Journal of Science*, vol. 287, s. 1008-1040.

PANOŠ, V. (1965): Problém krasovnění nekarbonátových hornin. *Časopis pro mineralogii a geologii*, vol. 10, no 1, s. 105 – 109.

POKORNÝ, R., JIROUDKOVÁ, I. (2012): The content of CaCO₃ as the important lithofacial indicator for the stratigraphic study of Upper Cretaceous sediments on the example of the eastern part of the Bohemian Cretaceous Basin. *Acta musei richnoviensis*, vol. 19, no. 3-4, s. 29 - 40.

PROCHÁZKA, V., ŠTĚPÁNKOVÁ, A., VACULOVÍČ, T. (2011): Chemické složení karbonátů České křídové pánve, *Geochemie a mineralogie*, vol. 5, no. 1, 11 s.

PŘIBYL, J., LOŽEK, V., KUČERA, B a kol. (1992): Základy karsologie a speleologie. *Academia*, Praha, 356 s., ISBN 80-000-0084-4.

RAY, S. GAULT, H. R. DODD, CH. G. (1957): The separation of clay minerals from carbonate rocks. *Am. Mineral*, vol. 42, s. 681-686.

RENARD, F., GRATIER, J. P., ORTOLEVA, P., BROSSE, E., & BAZIN, B. (1998): Self-organization during reactive fluid flow in a porous medium. *Geophysical Research Letters*, vol. 25 no. 3, s. 385-388.

SLAVÍK, M. (2012): Vznik krasových kanálů a jeskyní v jizerském souvrství na Turnovsku, Bakalářská Práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. Praha, 37 s.

SCHWARTZ R., LOCHMANN, Z. (1966): Krasové jevy v cenomanských vápencích mezi Miskovicemi a Malešovem u Kutné Hory. *Československý Kras*, vol. 18, s. 63-68.

SOUKUP, J., BRUTHANS, J., SVĚTLÍK, D., SCHWEIGSTILLOVÁ, J., & SMUTEK, D. (2013): Sebeorganizovaný systém podzemních kanálů vzniklých prouděním vody v puklinách křemenného pískovce v lomu Střeleč. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2012 / Hydrogeologie*, s. 296 – 304.

SWEETING M. M. (1972): Karst Landforms. *Macmillan*, London, Great Britain, 362 str., SBN 333 01165 1.

ŠRÁMEK, J., RATHOUSKÝ, J., SCHNEIDER, P. (1991): Porozita opuk. *Věstník ČGÚ*, vol. 67, no. 4, s. 259-276.

ŠRÁMEK, J. (2005): Calcite concretions in turonian marly silicites, central bohemia. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, vol. 2, no. 2, s. 161-165.

ŠTAFEN, Z. (1999): Chemostratigrafické stanovení ekvivalence vrstev a souvrství České křídové pánve. *Acta Musei Richnoviensis, Sect. Natur*, vol. 6, no. 2 s. 1-153.

ŠTAFEN, Z. (2009): The correction to stratigraphy of the cretaceous formation in the ohře region. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, vol. 6, no. 4. s. 411 – 440

TAYIE, F. A., KODUAH, G., MORK, S. A. P. (2013): Geophagia clay soil as a source of mineral nutrients and toxicants. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, vol. 13, no. 1, s. 7157-7170.

ULIČNÝ, D., KVAČEK, J., SVOBODOVÁ, M. ŠPIČÁKOVÁ, L. (1997): High-frequency sea-level fluctuations and plant habitats in Cenomanian fluvial to estuarine succession: Pecínov quarry, Bohemia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 136. s. 165 – 197.

ULIČNÝ, D. (2001): Depositional system and sequence stratigraphy of coarse-grained deltas in shallow-marine, strike-slip setting: the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. *Sedimentology*, vol. 48, s. 599 – 628.

ULIČNÝ, D., ČECH, S., GRYGAR, R.. (2003): Tectonics and depositional systems of a shallow-marine, intra-continental strike-slip basin: exposures of the Český Ráj region, Bohemian Cretaceous Basin. *Excursion Guide, First Meeting of the Central European Tectonics Group and Eighth meeting of the Czech Tectonic Studies Group. Geolines*, vol. 16, s. 133 – 148.

ULIČNÝ, D., LAURIN, J., ČECH, S. (2009a): Controls on clastic sequence geometries in a shallow-marine, transtensional basin: the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. *Sedimentology*, vol. 56, s. 1077-1114.

ULIČNÝ, D., ŠPIČÁKOVÁ, L., GRYGAR, R., SVOBODOVÁ, M., ČECH, S., LAURIN, J. (2009b): Palaeodrainage systems at the basal unconformity of the Bohemian Cretaceous Basin: roles of inherited fault systems and basement lithology during the onset of basin filling. *Bulletin of Geosciences*, vol. 84, s. 577 – 610.

ULIČNÝ, D., JARVIS, I., GRÖCKE, D. R., ČECH, S., LAURIN, J., OLDE, K., TRABUCHO-ALEXANDRE, J., ŠVÁBENICKÁ, L., PEDENTCHOUK, N. (2014): A high-resolution carbon-isotope record of the Turonian stage correlated to a siliciclastic basin fill: Implications for mid-Cretaceous sea-level change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 405, s. 42-58.

VALEČKA, J., SKOČEK, V. (1991): Late Cretaceous lithoevents in the Bohemian Cretaceous Basin, Czechoslovakia. *Cretaceous research*, vol. 12 no. 6, s. 561-577.

VALEČKA, J. (1976): Paleogeografie a litofaciální vývoj severozápadní části české křídové pánve. *Sborník geologických věd, Geologie*, vol. 33, s. 47-80.

VÍTEK, J. (1977): Vývoj skalních a jeskynních forem ve slínovcích východní části české křídové pánve. *Sborník Československé společnosti zeměpisné*, vol. 82, no. 4, s. 279-292.

ZAHÁLKA Č. (1902): Pásmo I. a II. křídového útvaru v Pojizeří. *Věstník Královské české společnosti nauk, Tř. math.-přirodověd*, Praha.

Internetové stránky:

Ceník laboratoří ČGS: <http://www.geology.cz/extranet/sluzby/laboratore/cenik-laboratore-2014.pdf>, citováno 2.8.2015

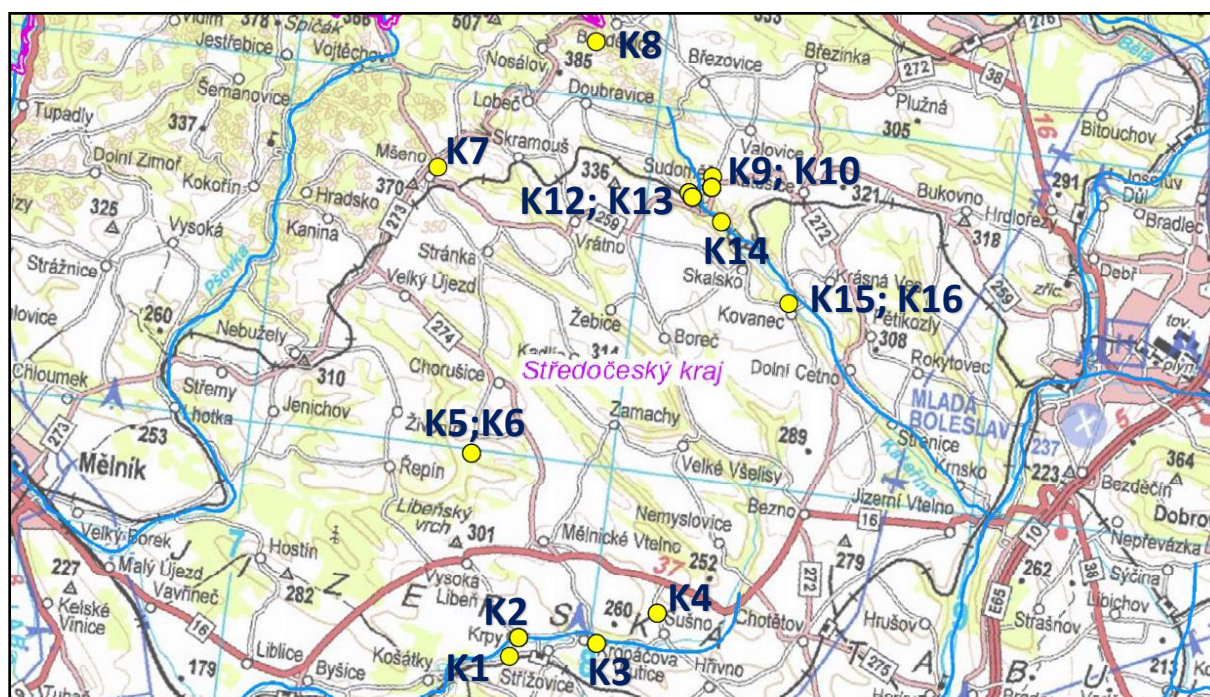
Přehrada Sudoměř: <http://prehradasudomer.cz, 2015>, citováno 2.8.2015

8 Přílohy

8.1 Seznam lokalit a bližší popis konkrétních míst odběru

Zde jsou uvedeny bližší údaje, které by měly ujasnit lokalizaci míst odběru vzorku. Každá oblast začíná přibližující mapou a pokračuje popisem lokalit. U popisu jsou uvedeny fotografie lokality s vyznačenými místy odběru vzorků, pokud nebyly uvedeny již v kap. 4.4. Autorem fotografií a jejich kompilací je J. Bruthans.

8.1.1 Mělnicko a Mladoboleslavsko



Obr. 8.1: Mapa oblasti mělnická a mladoboleslavská s vyznačenými lokalitami

K1: Střížovice. Lokalita se nachází přibližně 100 m od vesnice Střížovice směrem na Košátky. Zde jsme ze zvětralého pískovce odebrali jedno jádro K1A. Místo odběru je v úrovni pramene, který vyvěrá zhruba 15 metrů po svahu pod místní komunikací. Voda z pramene po asi 200 m přitéká zleva do Košáteckého potoka.

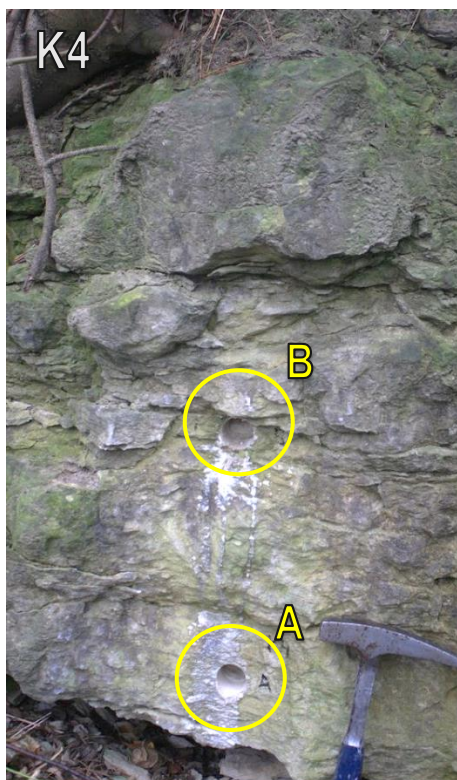


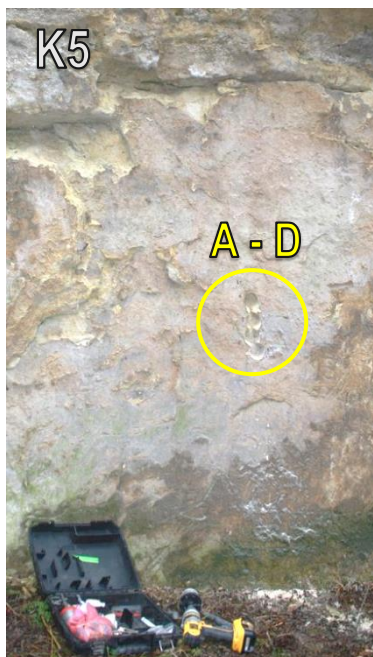
K2: Krpy. Asi 100 metrů od mlýna, který leží jižně od obce Krpy, jsme na prameni vytyčili malý profil, který sestával z jader K2A – K2D. Vertikální vzdálenost míst odběru je asi 30 cm. Nejnižší se nacházel přibližně 10 cm nad zemí. (Obrázek je uveden v textu)

K3: Kropáčova Vrutice. Zhruba 7 m nad tokem jsme ovzorkovali výchoz skály poblíž přehrazení dvou vodních nádrží, do kterých vtéká mohutný pramen. Výchoz je okolo většinou pokrytý eluviem a vegetací. Odebrali jsme jádra K3A a K3B, jejichž vertikální vzdálenost je asi 80 cm. Samotný výchoz se nachází ve svahu, zhruba 3 m nad hladinou nádrží.



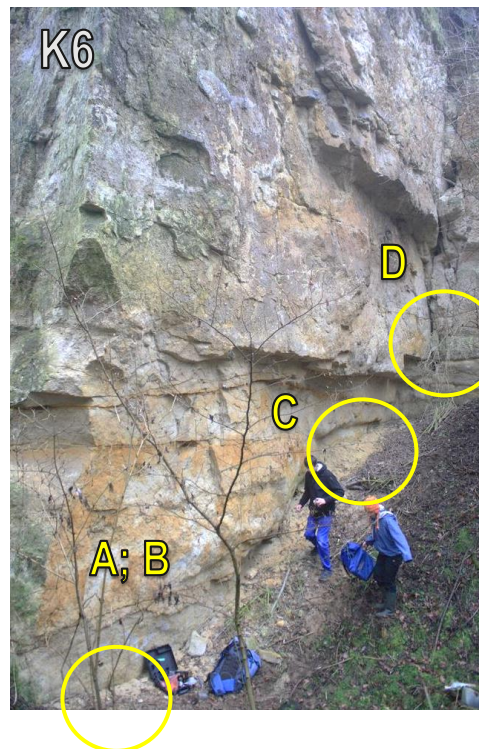
K4: Sušno. Jádra K4A a K4B jsme odebrali z malého profilu na výchozu poblíž silnice směřující k Mělnickému Vtelnu, asi 200 metrů za obcí Sušno. Vertikální vzdálenost míst odběru je asi 30 cm.



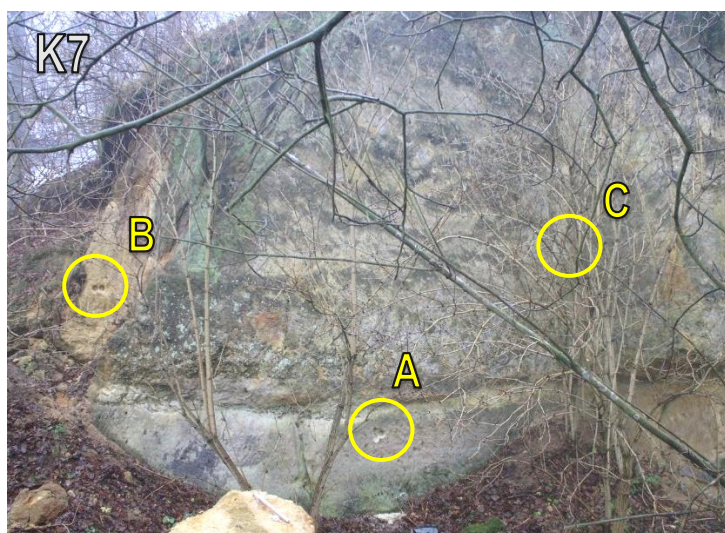


K5: Zahájí u Řepinského Dolu, vrchní etáž. Lokalita se nachází asi 1 km po modré turistické stezce za obcí Zahájí v opuštěném lomu. Z výchozu na lomové stěně kvádrových pískovců jsme odebrali jádra K5A – K5D, které v profilu těsně navazují. Vzorky nebyly pro další výzkum použity.

K6: Zahájí u Řepinského Dolu, spodní etáž. Místo se nachází několik metrů níže po svahu od K5. Odebrali jsme vzorky K6A – K6D v profilu asi 4 m vysokém. Analýza byla provedena pouze na vzorku K6A, další použity nebyly.



K7: Lom pod Mšenem. Lokalita je napravo od blízké cesty, vedoucí v údolí potoka ke Hluboké studánce, na okraji lesa. Z výchozu jsme odebrali jádra K7A – K7C. Analýza byla provedena pouze na vzorku K7C.



K8: Suchý mlýn. Poblíž ústí údolí jsme z pískovcového výchozu odvrtili jedno jádro K8A, které však nebylo k výzkumu využito.



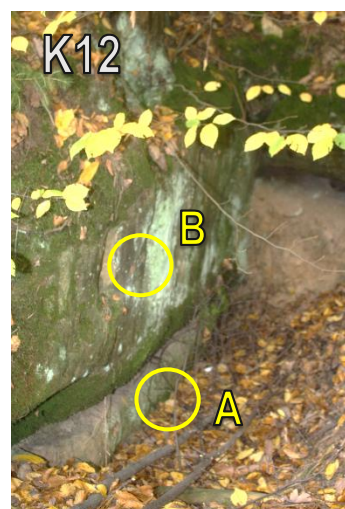
K9: Sudoměř, křižovatka. Poblíž křižovatky severně od obce Sudoměře, jsme odvrtili jedno jádro K9A. Výchoz se nachází v levém příkopu pod silnicí vytesaném do pískovcové skály.



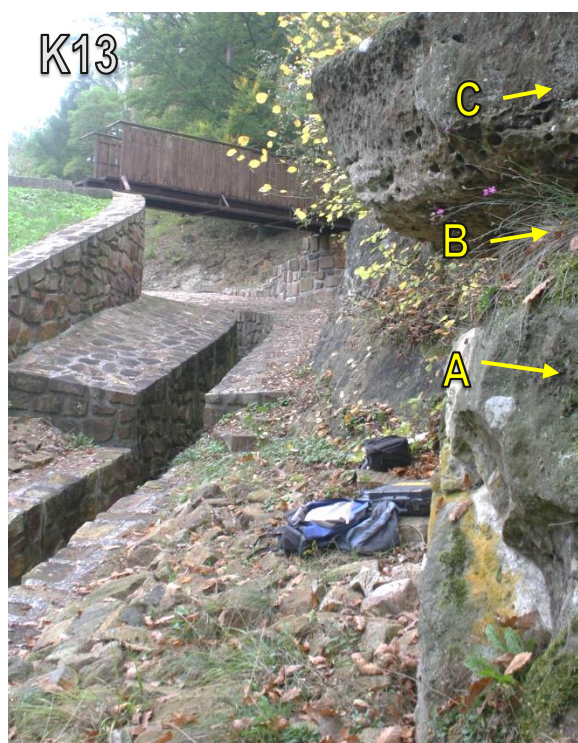
K10: Sudoměř, silnice. Vedle silnice směřující západně od Sudoměře na Skalsko jsme odebrali malý profil tvořený ze čtyř navazujících jader K10A – K10D. Jádro K10C je na stejné úrovni jako K10D, ale pochází z pevnější oválné konkrce, velké na průřezu 20 – 30 cm. Jádra K10A a K10B jsme odvrtili ve vytesaném příkopu na západní straně silnice. Vzdálenost mezi nimi je asi 40 cm, K10B leží zhruba v úrovni silnice. Jádra K10C a K10D jsme odvrtili ze stěny na východní straně silnice, asi 1 m nad povrchem.



K12: Sudoměř, přehrada. Západně od Sudoměře, vpravo od silnice vedoucí do obce Trnová, je údolí Strenického potoka přehrazené a tím je vytvořena přes 500 m dlouhá vodní nádrž, využívaná jako rybník. Jádra K12A a K12B jsme odebrali z rozsedlinové pukliny v pískovcích jizerského souvrství na Z břehu nádrže. Místo odběru je ve výšce asi 2 m nad hladinou nádrže, vertikální vzdálenost mezi odběry je asi 0,5 m.



K13: Sudoměř, hráz. Zhruba 20m od hráze na J konci vodního díla je na V stěně nad kamenným svodem vody z přetoku vodní nádrže malý výčnělek,



na kterém jsme z pískovců jizerského souvrství odvrtali malý profil ze tří jader K13A – K13C s vertikálním krokem asi 30 cm. Profil je položen tak, že jádro K13B je z více zvětralé vrstvy a další jádra pochází z nadložních a podložních pískovcových vrstev. Profil se nachází ve výšce asi 2 m vertikálně pod blízkou silnicí, která vede v úrovni hráze.

K14: Sudoměř, pramen. Lokalita se nachází poblíž silnice vedoucí údolím Strenického potoka ze Sudoměře do obce Skalsko, od které je vzdálen asi 1 km. Místo odběru je poblíž rozsedlinové pukliny, ze které vytéká pramen. Poblíž místa výtoku jsme odebrali dvě jádra. K14A pochází z pískovce asi 10 cm nad hladinou vody. K14B byl odebrán přibližně 2m nad hladinou. (Obrázek je uveden v textu)

K15: Podkováň, velký pramen. Lokalita se nachází v údolí Vazoveckého potoka, mezi obcemi obcí Skalsko a Kovanec. Pramen je přístupný po starém železničním náspu, který vede k místnímu pivovaru. Vzorek K15A byl odebrán z pískovcového výchozu, asi 10 cm nad hladinou prameniště v JZ stěně údolí.



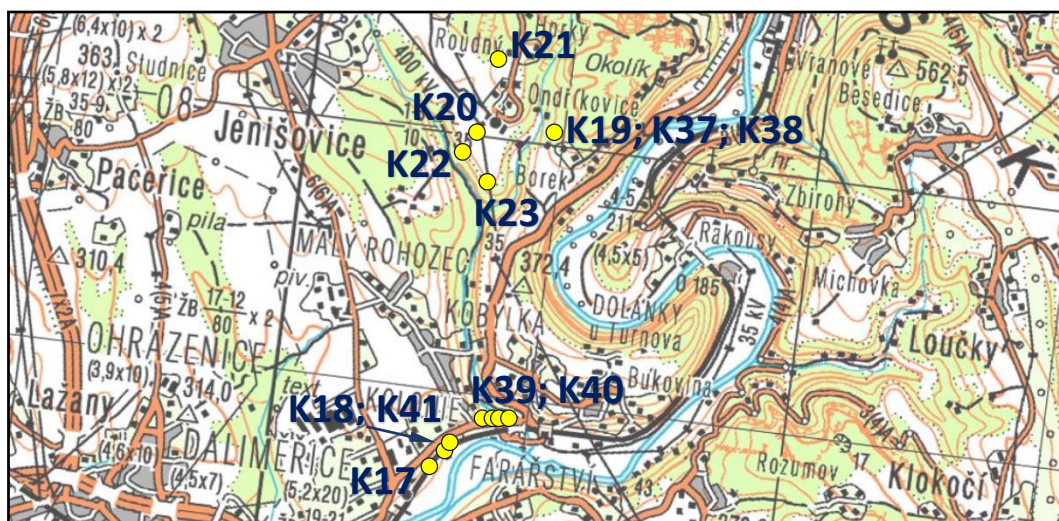
K16: Podkováň, menší pramen. Místo je téměř stejné, jako v případě K15. Leží však o zhruba 300 m blíže k Podkováňskému pivovaru. Na místě jsme odebrali jedno jádro K16A, zhruba 10 cm nad hladinou vody, která zaplňuje terénní prohlubeň s nepatrným odtokem.



K42: Dubá. (Mimo mapu 8.1) Lokalita se nachází v místě výstavby obchvatu západně od obce Dubá, při severním konci nového silničního mostu, který je součástí obchvatu Dubé. Jádro K42A pochází ze středně zvětralých hornin asi 1,5 m pod původním povrchem terénu.

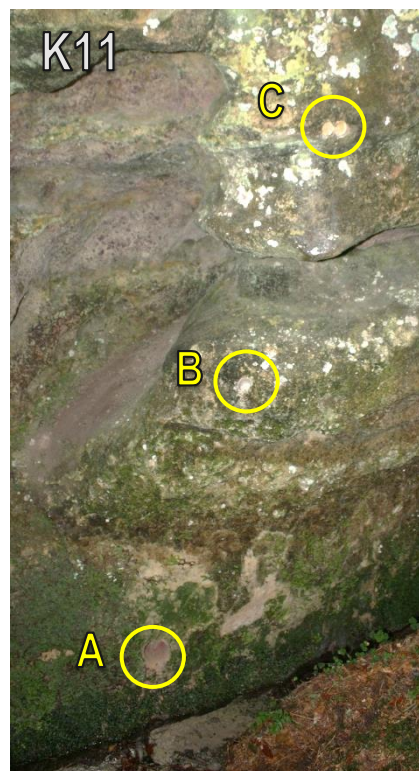


8.1.2 Turnovsko



Obr. 8.2: Mapa oblasti Turnovska s vyznačenými lokalitami

K11: Pytlíkovský Mlýn. (Mimo mapu 8.2) Lokalita se nachází asi 2 km vzdušnou čarou SZ od Obce Strážiště, asi 500 m jižně od Pytlíkovského mlýna, v areálu skautského tábora v údolí potoka Zábrdka. Z vnitřku až 3 m dlouhé jeskyně ve skále vytéká pramen, který po zhruba 100 m vtéká do Zábrdky. Jeskyně má zúžený vchod, ale je přístupná a hlouběji poměrně prostorná, až asi 1,5 m vysoká. Uvnitř je několik viditelných puklin v pískovci, ze kterých vytéká voda. Pod výtoky jsou plošky sintru. Na výchozu vlevo od vchodu do jeskyně jsme odebrali tři vzorky K11A – K11C v profilu s rozestupem zhruba 0,5 m. K11A je přibližně 10 cm nad hladinou toku, tedy zhruba v úrovni pramenů v jeskyni. K11C pochází ze zpevněné vrstvy, která z profilu trčí do prostoru.



K19: Jeskyně Šálení Smyslů. Lokalita se nachází poblíž osady Borek, JV od obce Ondříkovice, na JV straně svahu směřujícím do údolí Vazoveckého potoka. Malý potok, který přitéká osady Borek, se zde ztrácí nelogicky do svahu, namísto toho, aby pokračoval dolů z poměrně příkrého svahu. V místě infiltrace byla v nedávné době objevena poměrně



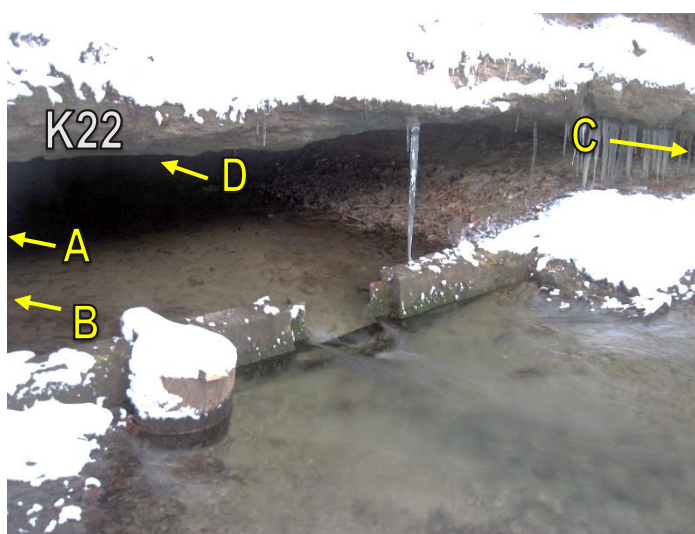
rozsáhlá jeskyně. Z vnitřku jeskyně dále pochází jádra a K38A a B. Jádro K37 pochází z další nově objevené jeskyně, která se nachází na dně údolí asi 40 m vertikálně a asi 100 m po proudu od jeskyně Šálení Smyslů.

K20: Ondříkovice ponor. Lokalita se nachází jižně od obce Ondříkovice, kde se malý potok tekoucí mezi pastvinami ztrácí v podzemí. Jako jádro K20A jsme odebrali několik úlomků horniny poblíž šachty z betonových skruží, která již není přístupná. Úlomky byly vyneseny na povrch jeskyňáři při hloubení šachty.



K21: Poloslepé údolí Podhorčí. Malé údolí se nachází SZ od Ondříkovic, jižně od osady Podhorčí. Z malého výchozu při bázi údolí asi 15 m od uzávěrové stěny poloslepého údolí jsme odebrali jádro K21A.

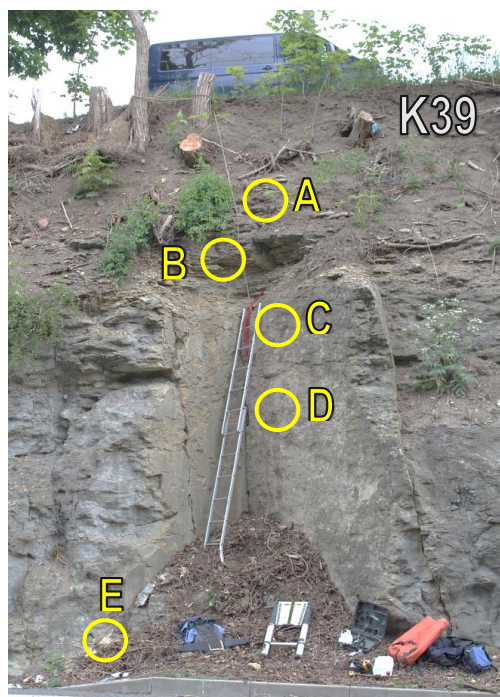
K22: Bartošova pec. Lokalita se nachází asi 400m ZJZ od obce Ondříkovice, poblíž silnice směřující k Vazoveckému potoku. Jedná se o nízku, ale celkem přes 200 m dlouhou jeskyni, ze které vytéká cca 20 l/s i více vody. Poblíž jejího vchodu jsme odebrali celkem 4 jádra K22A – K22D. K22A nebylo dále využito, K22B jsme odvrtali



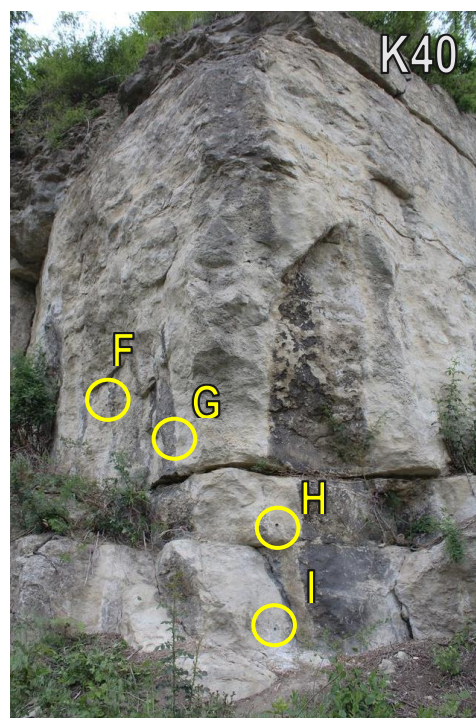
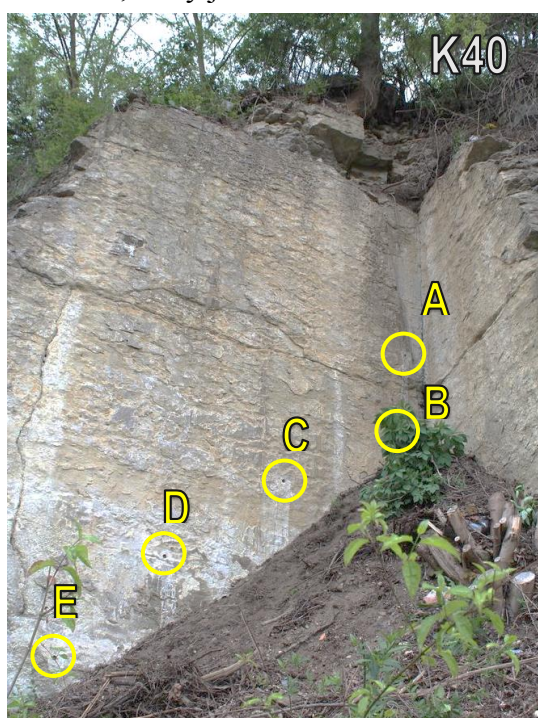
z velkého úlomku, odpadlého ze stropu při levé stěně vchodu. K22C pochází z úlomku ze široké pukliny před jeskyní, při pravé stěně vchodu. K22D byl odvrtán přímo ze stropu jeskyně.

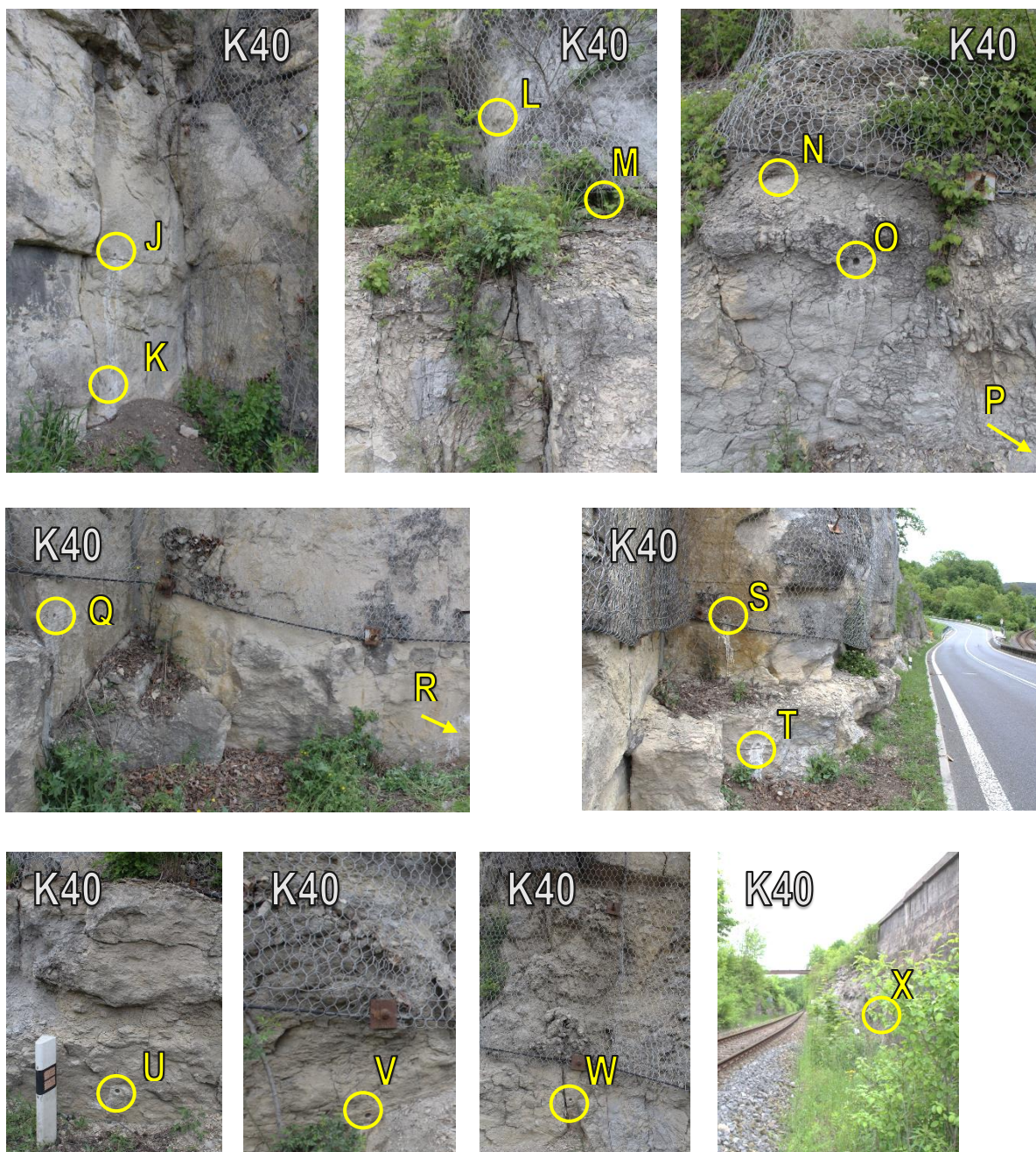
K23: Pramínek u Bartošovy Pece. Lokalita se nachází asi 500 m po proudu toku od Bartošovy pece, ve výchozu na severní straně stejné silnice. Z horizontální pukliny zde vytéká malý pramen, několik dl/s vody. Několik cm nalevo od pramene jsme odebrali profil 4 jader K23A – K23D, které na sebe přímo navazují s nepatrným překryvem. Krok profilu je tedy asi 2,5 cm.

K39: Vápeník, horní. Následujících pět lokalit tvoří profil částí jizerského souvrství. Zpočátku je vedený v zářezu silnice E65 u Turnova a níže podle blízké železnice. Vertikální krok profilu je 1 m. Profil sleduje uklánějící se skalní profil nad silnicí a skládá se z menších úseků v jejím průběhu. Vertikální vzdálenosti jsme určovali podle horizontálních puklin, které jsou průběžné celým výchozem. Písmenné značení jader v profilu roste směrem dolů. Lokalita K39 tvoří nejvyšší úsek profilu, 100 m SV od silničního mostku k osadě Kolonie. Úsek tvoří jádra K39A – K39E. Profil začíná zvětralými horninami při vrcholu stěny a pokračuje bez přerušení vertikálně dolů.



K40: Vápeník, spodní. Další úseky profilu jsou značeny jako K40. V různých posunech jsme po kratších úsecích odebrali jádra K40A – K40X. Profil pokračuje směrem na VSV při severní straně silnice až po K40W. K40X jsme odvrtali na druhé straně silnice v zářezu železnice, který je zahlouben více než silnice.

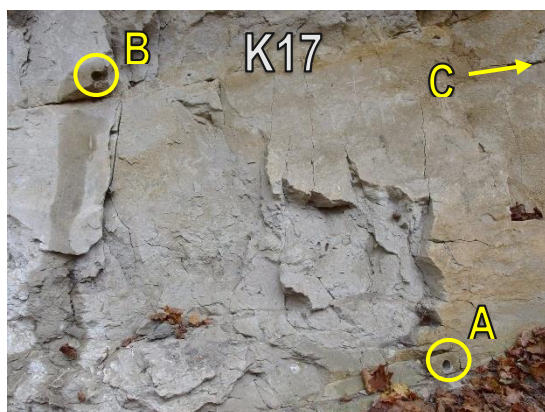
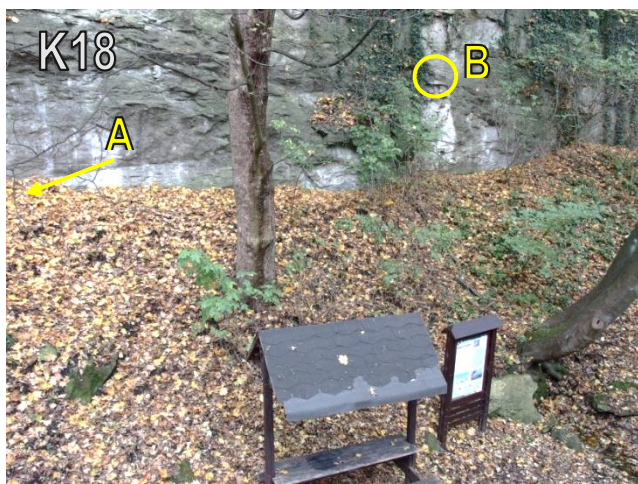




K41: Rohozec, 1. Tento úsek se nachází o 500 m dále na JZ od předchozích profilů, blíže k zámku Hrubý Rohozec. Sestává z jader K41A až K41D v malém profilu. K41E vzorkuje sintrovou plošku a k výzkumu využit nebyl. Místa odběru se nachází zhruba 30 m severně od průchodu pod železnicí.

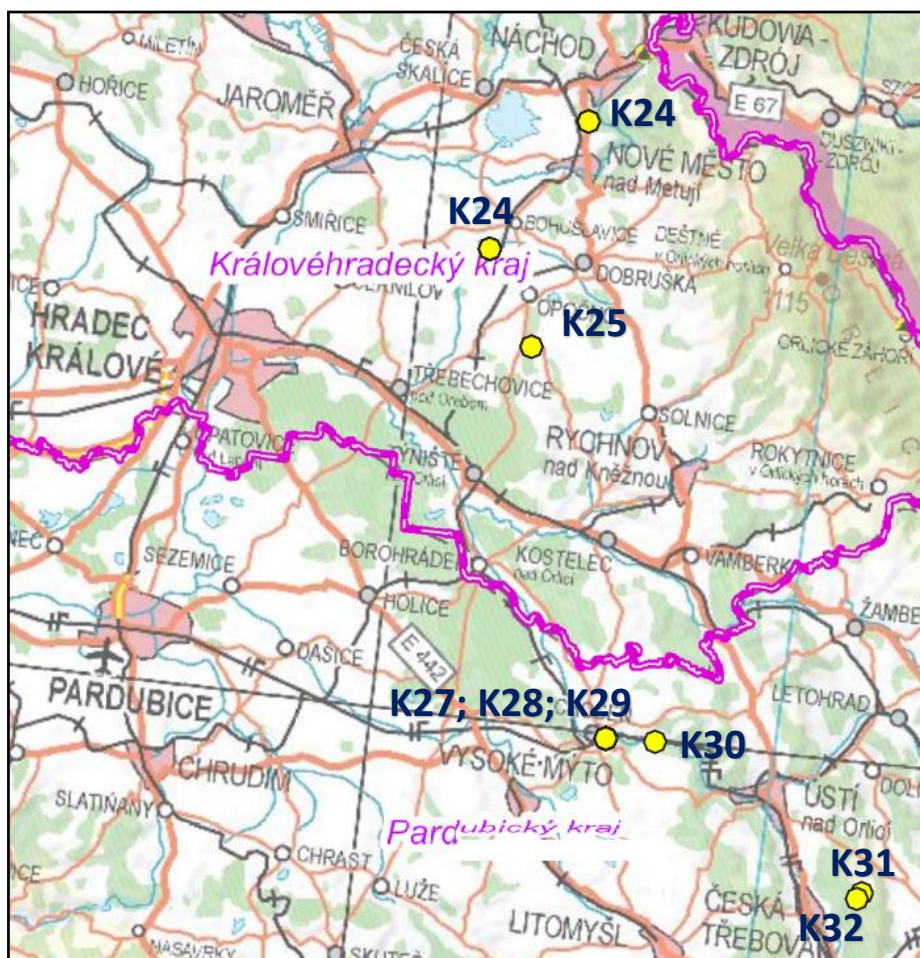


K18: Rohozec, 2. Na profil navazují jádra K18B a K 18A. Odebrali jsme je z kolmé skalní stěny poblíž obloukového průchodu v náspeku železnice, jímž vede turistická stezka a protéká malý potok, který pramenní pod svahem.



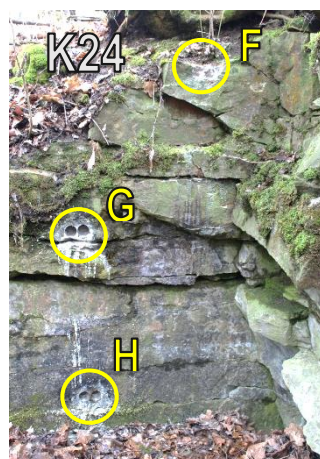
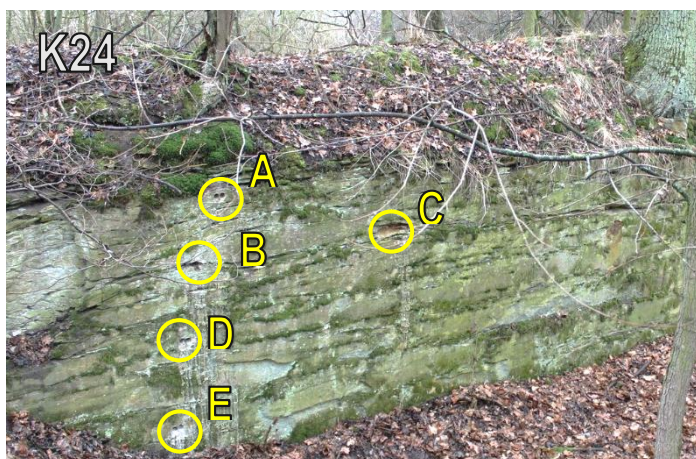
K17: Rohozec, 3. Nejnižší úsek profilu tvoří jádra K17B a K17A. K17C pochází se stejné výšky jako K17B, z více zvětralé horniny. Místa odběru se nachází o 100 m jižněji po pěší cestě od průchodu pod železnicí.

8.1.3 Podorlická křída, Vysokomýtská a Ústecká synklinála

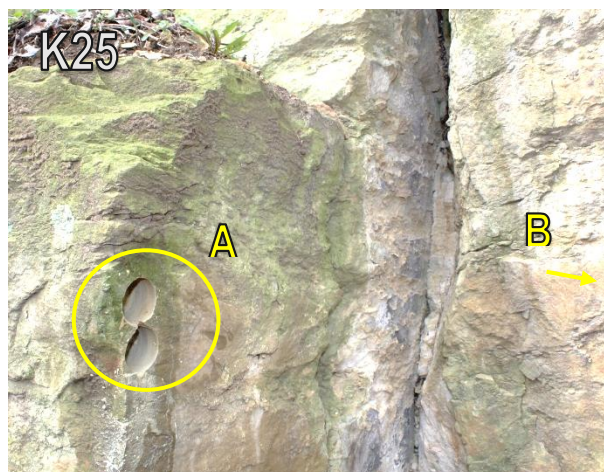


Obr. 8.3: Mapa oblasti podorlické křída a synklinál s vyznačenými lokalitami

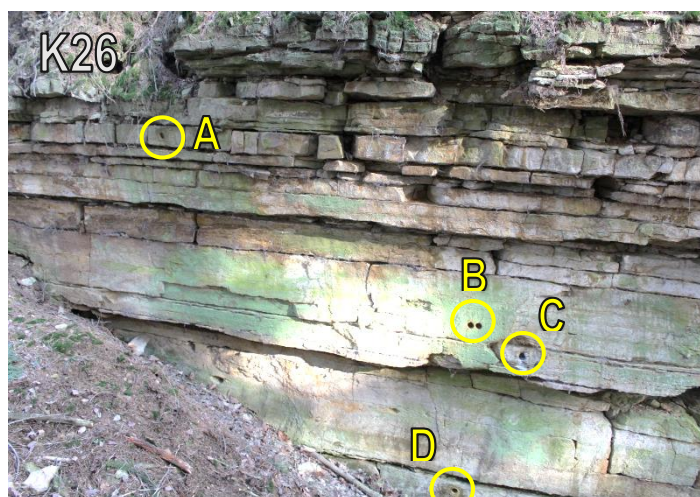
K24: Zbytka: Lokalita se nachází v přírodní rezervaci Zbytka, necelý 1 km SV od Českého Meziříčí. Ze dvou výchozů v opuštěném lomu v lesíku jsme odebrali jádra K24A – K24H, které tvoří profil s krokem po 0,5m. K24C vzorkuje zvětralou horizontální puklinu a je na stejné úrovni, jako K24B, protože se v profilu nevyskytuje. Písmenné značení jader v profilu roste směrem dolů.



K25: Přepychy, lom. Východně od hranic obce Přepychy se nachází opuštěný lom obdélníkového tvaru, kterým je vedena silnice do obce Záhornice. Jeho 5 až 10 m vysoké skalní stěny se vyznačují množstvím vápnitých konkrecí, které jsou většinou zvětralé a tvoří až metr hluboké dutiny. Ze severní stěny poblíž hranice obce Přepychy jsme odebrali jádra K25A a K25B. K25A pochází ze stěny zcela odtěžené pukliny, která jeví známky chemické eroze. K25B je z blízké, málo erodované konkrce.



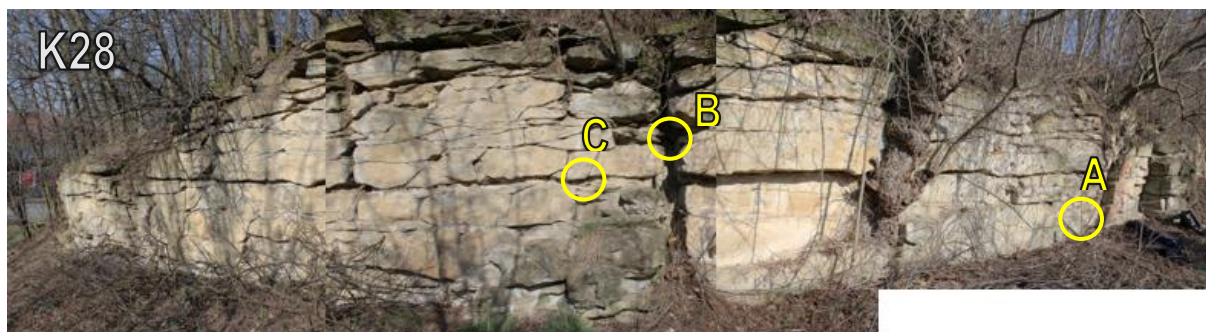
K26: Vrchoviny, lom. Lokalita se nachází zhruba 500 m severně od obce Vrchoviny, východně od silnice do Náchoda. Jedná se o opuštěný lom, kde jsme z lomové stěny odebrali jádra K26A – K26 D, která tvoří malý profil s krokem 1m, začínající 1 m pod původním povrchem. K26C je na stejné úrovni jako K26B, ale pochází z elipsovité konkrce. Písmenné značení jader v profilu roste směrem dolů.



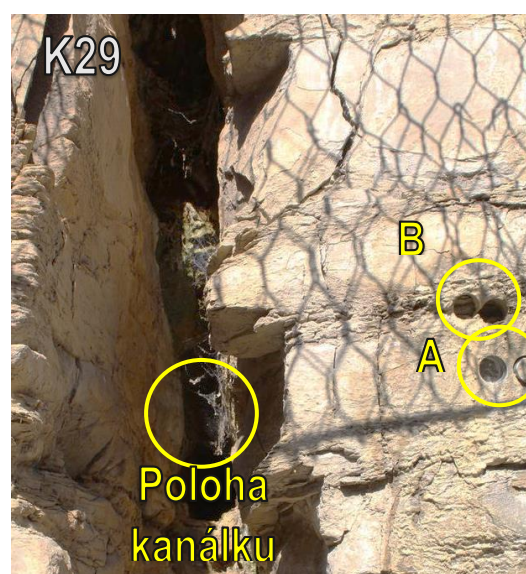
K27: Choceň, V nad zářezem. Následující tři lokality se nacházejí na různých místech železničního zářezu v Chocni. Z malého výchozu u silnice při jižním konci vyššího ze dvou mostů jsme odebrali jádro K27A. Na výchozu byly zjevné známky koroze.



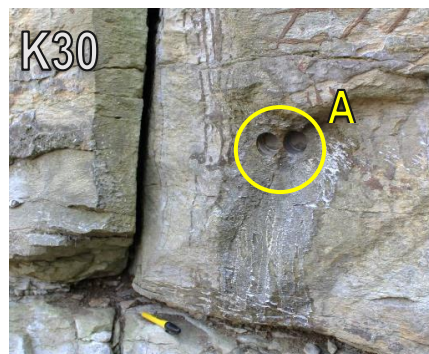
K28: Choceň, Z nad zářezem. Poblíž druhého konce stejného mostu, kde vede úzká pěší cesta podél asi 2m vysokého podlouhlého výchozu, jsme odebrali jádra K28A – K28C. K28A pochází z výšky asi 20 cm nad povrchem, poblíž rozšířené pukliny. K28C vzorkuje zvětralý materiál horizontální pukliny, která prochází ve výšce 1 – 2 m nad terénem. K28B jsme odebrali nad touto puklinou ze zvětralého, ale ještě pevného původního materiálu, vyplňující vertikální puklinu.



K29: Choceň, v zářezu. Ze severní strany zářezu, přístupného po betonovém ochozu, jsme odebrali jádra K29A a K29B. Ochoz je ve výšce asi 4m nad tratí a jeho zeď chrání vlakovou trať před padajícími kameny a také odvodňuje okolní skály. Místa odběru se nachází napravo od až 20 cm široké pukliny, která prochází subvertikálně pod pilířem mostu. V puklině prochází horizontální eliptický kanálek, vysoký kolem 30 cm, dlouhý minimálně 2m. Jádro K29A vzorkuje vrstvu, která je uložena ve stejné výšce jako kanálek. Vzorkovaná hornina se střídá ve vrstvách s podobnou, ale více šupinovitě erodující vrstvou po asi 30 cm. Druhý typ horniny vzorkuje jádro K29B. Vrstvy druhého typu jsou méně mocné, tvoří asi pětinu z celého profilu.



K30: Oucmanice, lom. Lokalita se nachází zhruba 2 km od Brandýsa nad Orlicí, poblíž silnice vedoucí do Oucmanic. Jedná se o opuštěný lom ve svahu jižně od silnice. Poblíž rozšířené pukliny jsme poblíž východního konce lomu odebrali jádra K30A – K30C. K30A vzorkuje horninu napravo od pukliny. K30B a K30C vzorkují až 2 cm žilky hrubozrného kalcitu pravděpodobně diagenetického původu, a pro výzkum využity nebyly.



K31: V dolech 1. Další dvě lokality se nachází v lese východně od České Třebové, v údolí Skuhrovského potoka, který teče do České Třebové z obce Skuhrov. V místech, kde se do potoka vlévá malý levý přítok, je studánka U Karlova mostku. 500 m SV od studánky, nad zlomem východního svahu v náhorní plošinu, je vchod do rozsedlinové jeskyně „V Dolech 1“. Jeskyně je přístupná poměrně obtížně, protože je tvořena asi 1 m širokou vertikální puklinou, takže její prostor strmě spadá směrem dolů. Ve střední etáži jeskyně lze prohlédnout vykrouženou stoupající dutinu, ze které jsme odebrali dva vzorky K31A a K31B. Obě jádra pocházejí z úlomků, které ležely ve střední části dutiny, K31B z méně zvětralé horniny než K31A. Hloubka jejich odběru je 4 – 6 metrů pod povrchem náhorní plošiny.

K32: Pramen Bukovka. Po 100 m JZ od soutoku potoků, popsaných výše, pramení ze západního svahu údolí pramen Bukovka. Ústí pramene je upravené, ale 0,5 m nad ním je vidět puklina, ze které vytéká. Z jednoho zvětralého úlomku poblíž pukliny jsme odebrali jádro K32A.



8.1.4 Broumovsko

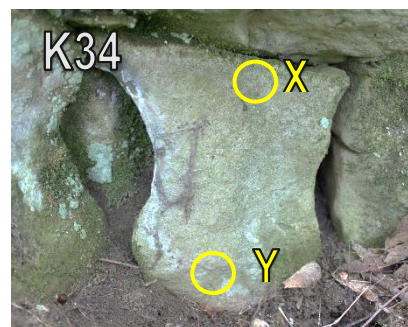


Obr. 8.4: Mapa oblasti Broumovska s vyznačenými lokalitami

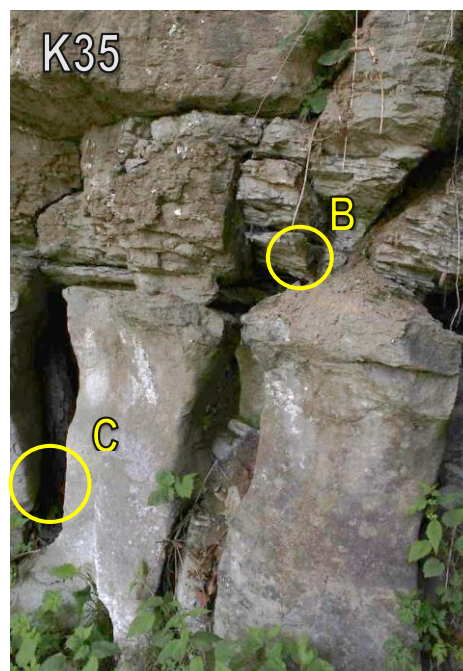
K33: Pod Hlavňovem. První výchoz sloupků se nachází 1,5 km S od Police nad Metují, za hranicí obce Bukovice, v zářezu silnice vedoucí podle Hlavňovského potoka. V zatáčce silnice je patrných několik konkrecí, které podléhají sloupkovité erozi. Na místě jsme odebrali jádra K33A – K33C. Ze sloupku na levém konci první konkrece pochází K33A. K33B jsme odebrali z jiné konkrece, ze které vystupují tvrdé, neztvářené hrboly. K33C vzorkuje in situ sediment, který vyplňuje až 10 cm širokou vertikální puklinu ve výšce první konkrece.



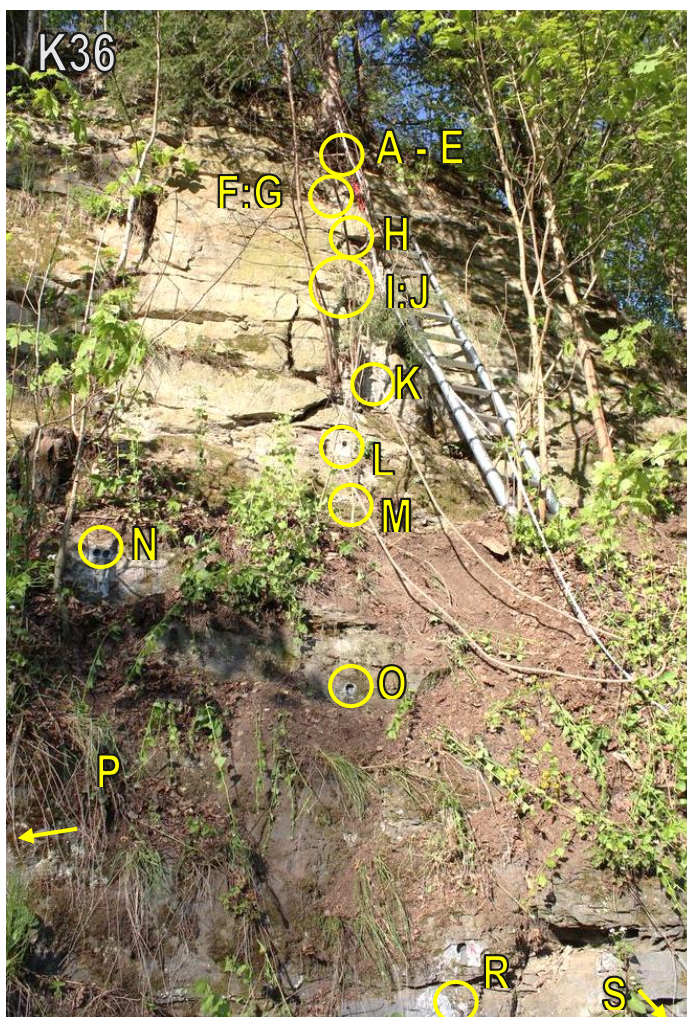
K34: Radešov. Další výchoz se sloupky leží jižně od Police nad Metují, Z od silnice do Bezděkova, v západním shahu před odbočkou do obce Radešov. Jádra K34X a K34Y jsme odebrali z jednoho sloupku K34A, který se uvolnil ze zvětralého místa výchozu. K34X pochází z horní hrany sloupku, K34Y z dolní hrany.



K35: Česká Metuje. Další výchoz se sloupky leží před severní hranicí obce Česká Metuje, na východním svahu silnice do Teplice nad Metují. Ve svahu je chráněný výchoz sloupků, které dosahují výšky 30 – 40 cm. Z lokality jsme odebrali jeden uvolněný sloupek K35A, ze kterého jsme odvrtali jádra K35AX a K35AY, stejným způsobem jako ze sloupku K34. Dále jsme odebrali vzorky in situ sedimentu, který vyplňoval pukliny v okolí sloupků. K35B pochází z horní části sloupku, která je více erodovaná, než sloupek samotný. K35C pochází z rozšířené vertikální pukliny mezi dvěma sloupky.



K36: Vápenka. Lokalita se nachází u silnice vedoucí z České Metuje do obce Radvanice. Na strmém svahu severně od křižovatky s cestou vedoucí k osadě Vápenka, jsme vytyčili profil na 10 metrů vysokém výchozu. Krok profilu je 0,5m. Profil začíná zvětralými horninami při horní hraně svahu a končí pevnými tmavými horninami při bázi svahu. Profil tvoří jádra K36A – K36S s vynecháním Q. Písmenné značení jader v profilu roste směrem dolů.



8.2 Výčet anomálních vzorků k Obr. 4.9

A	n1	n2	Δn	RS
K12A2	15%	27%	12%	0,42%
K12B1	23%	35%	12%	0,29%
K13A2	27%	42%	15%	0,13%
K13C2	22%	43%	22%	1,70%
K14B1	26%	39%	13%	1,04%
K16A2	26%	46%	20%	1,05%
K28C	39%	49%	10%	2,30%
B	n1	n2	Δn	RS
K18B	5,1%	39%	34%	42,4%
K40B	8%	21%	13%	48,3%
K40E	8%	30%	23%	49,6%
K40M	10%	29%	20%	46,0%
K40P	7%	37%	30%	48,1%

8.3 Vizuální porovnání vzorků před a po loužení.

Následující sady obrázků ukazují dvě fotografie vzorků před loužením (snímek vlevo) a po loužení (snímek vpravo) v přibližné stejné poloze, pokud bylo možné ji podle značky i po loužení ještě určit. „O“ značí stranu vzorku bližší povrchu výchozu, „I“ značí stranu vzorku dále od povrchu výchozu. Strany vzorků z úlomků vrtných jader byly pouze číslovány. Označení vzorku je uvedeno vždy uprostřed pod sadou obrázků. Velikost vzorků na obrázku je přibližně stejná jako ve skutečnosti, přiblížení snímků může být různé. V případě úplného rozpadu vzorků nejsou snímky po loužení zobrazovány.



K1A



K2A



K2B



K2C



K2D



K3A



K3B



K4A



K4B



K6A



K7C



K9A



K10A



K10B



K10C



K10D



K11C



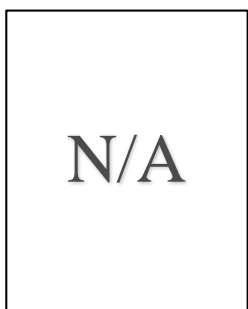
K12A



K12B



K13A



K13B



K13C



K14B



K16A



K17A



K17B



K18A



K18B



K19A



K21A



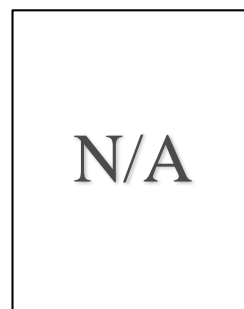
K22B



K22C



K23A



K23B



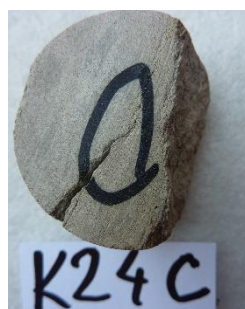
K23D



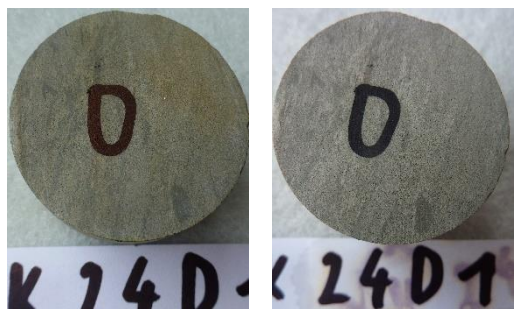
K24A



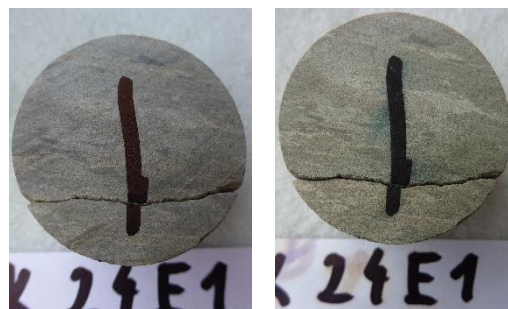
K24B



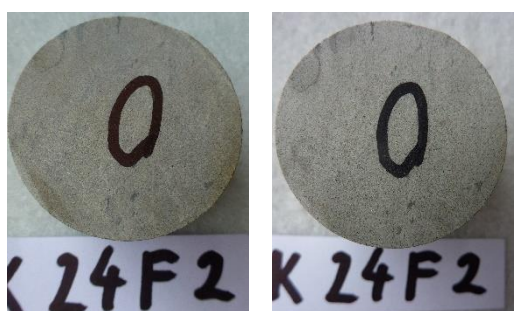
K24C



K24D



K24E



K24F



K24G



K24H



K25A



K25B



K26A



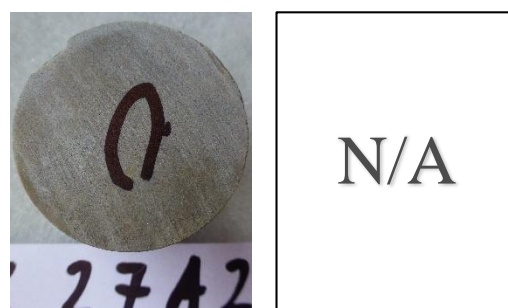
K26B



K26C



K26D



K27A



K28A



K28B



K28C



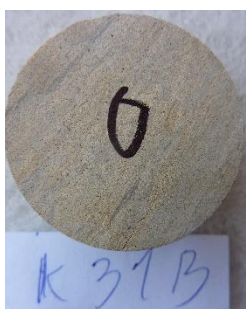
K29A



K29B



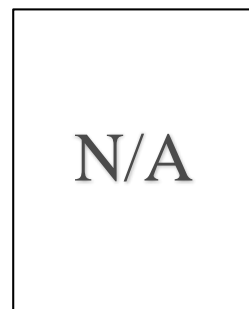
K30A



K31B



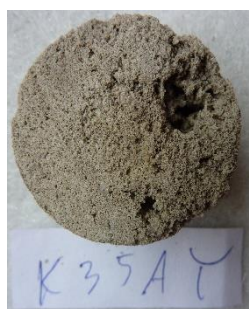
K32A



K33A



K34Y



K35AY



K35B



K36A



K36C



K36E



K36F



K36G



K36H



K36I



K36J



K36K



K36L



K36M



K36N



K36O



K36P



K36R



K36S



K37A



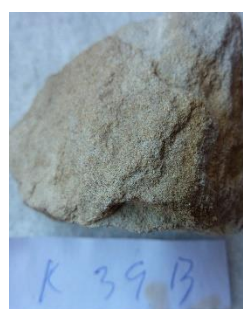
K38A



K38B



K39A



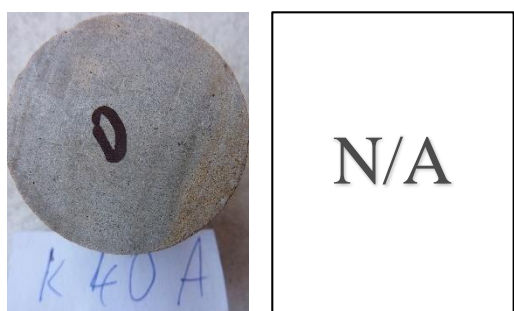
K39B



K39C



K39D



K40A



K40B



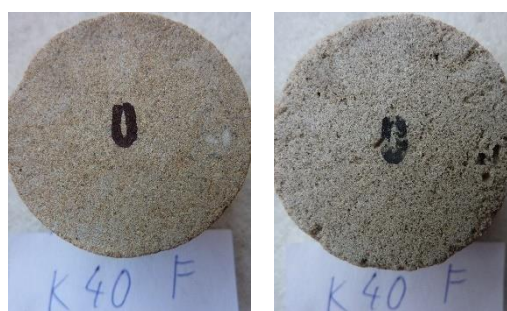
K40C



K40D



K40E

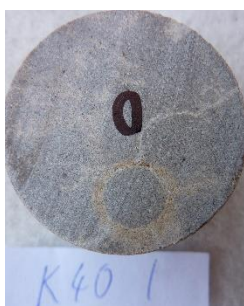


K40F



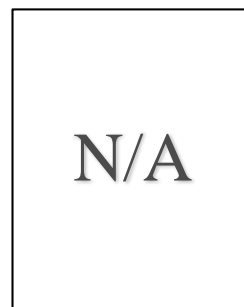
K40G

K40H



K40I

K40J



K40K

K40L



K40M



K40N



K40P



K40Q



K40R



K40S



K40T



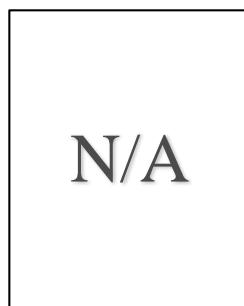
K40U



K40V



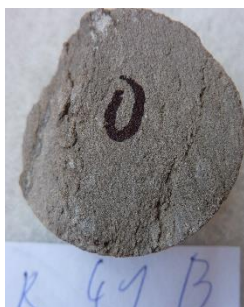
K40W



K40X



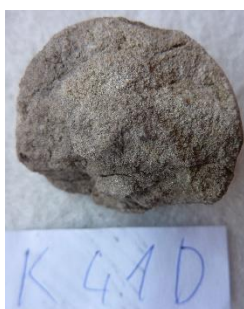
K41A



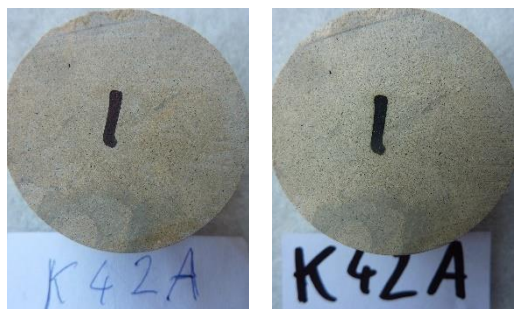
K41B



K41C



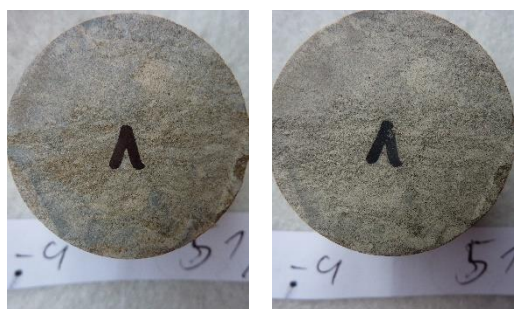
K41D



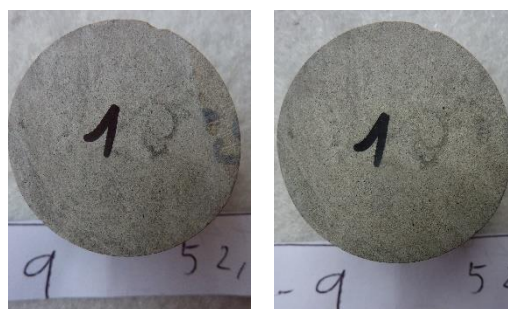
K42A



Lo-9/49,5



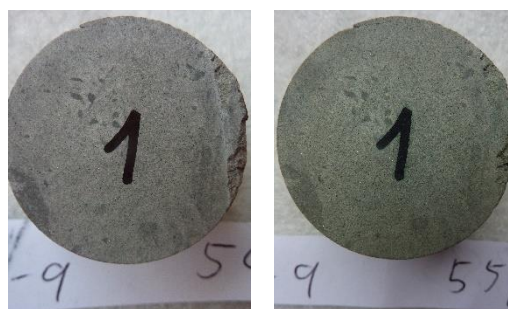
Lo-9/51,5



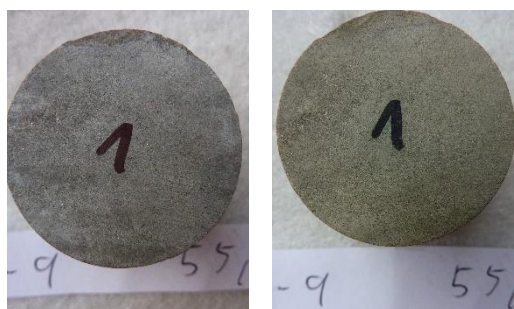
Lo-9/52,1



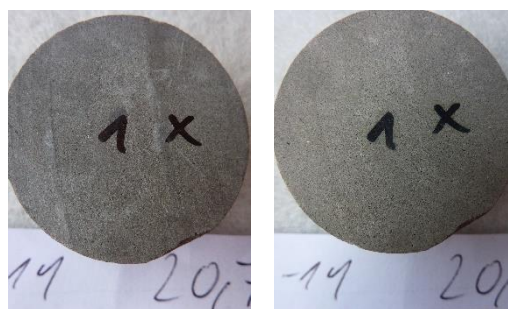
Lo-9/53,3



Lo-9/54,5



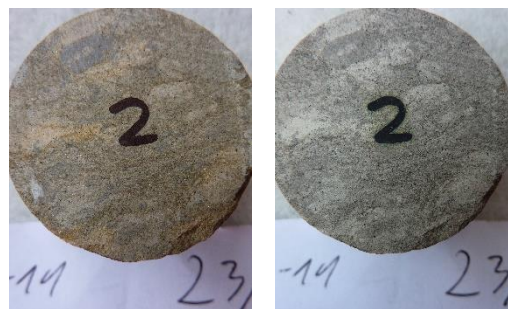
Lo-9/55



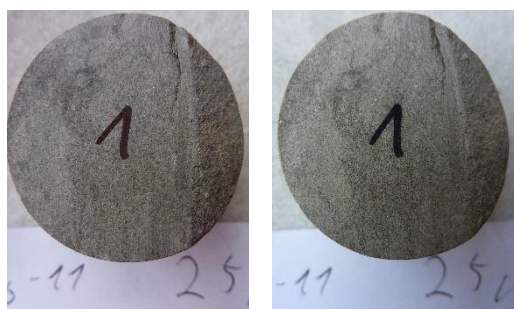
Lo-11/20,7



Lo - 11 / 23,0



Lo - 11 / 23,5



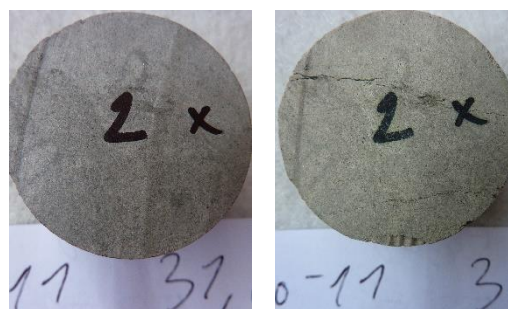
Lo - 11 / 25,0



Lo - 11 / 29,0



Lo - 11 / 30,8



Lo - 11 / 31,6



Lo - 11 / 156,5



Lo - 11 / 160



Lo - 11 / 161



Lo - 11 / 170



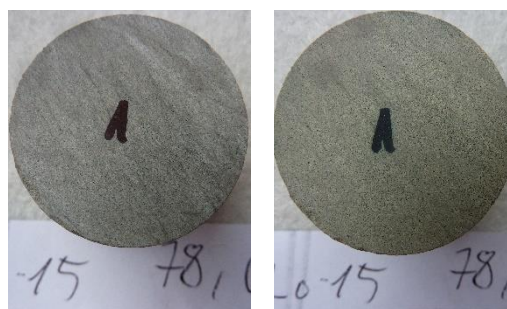
Lo - 11 / 182



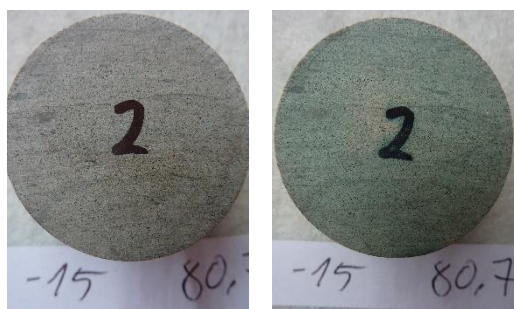
Lo - 11 / 184



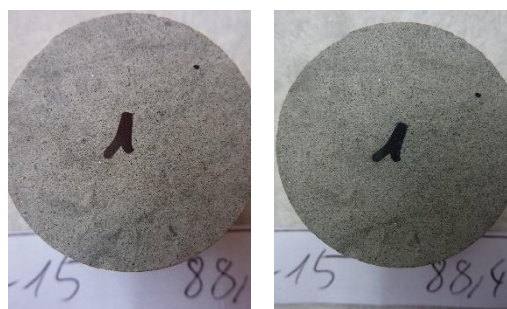
Lo - 11 / 185



Lo - 15 / 78,0



Lo - 15 / 80,7



Lo - 15 / 88,4



Lo – 15 / 99,5



Lo – 17 / 123



Lo – 17 / 123,3



Lo – 17 / 123,5



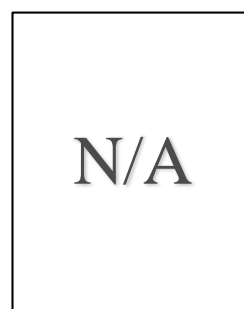
Lo – 17 / 134,5



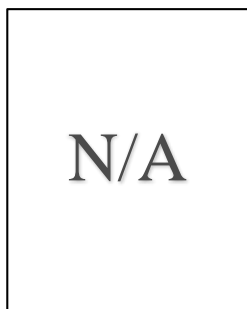
Lo – 17 / 167,3



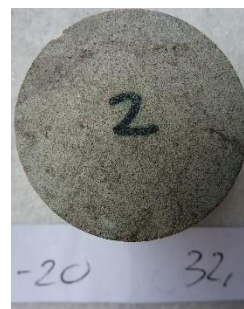
Lo – 17 / 170,3



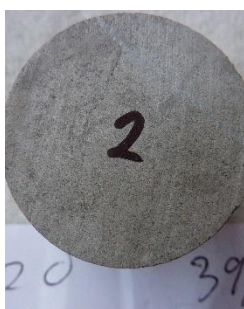
Lo – 20 / 28,5 A



Lo – 20 / 28,5 B



Lo – 20 / 32,5



Lo – 20 / 39,3



Lo – 20 / 234



Lo – 21 / 152,4